

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Absolvování individuální odborné praxe
Individual Professional Practice in the Company

2020

Adam Pustówka

Zadání bakalářské práce

Student: **Adam Pustówka**

Studijní program: B0714A150001 Řídicí a informační systémy

Téma: Absolvování individuální odborné praxe
Individual Professional Practice in the Company

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Student vykoná individuální praxi ve firmě: ATEsystem s.r.o.
2. Struktura závěrečné zprávy:
 - a. Popis odborného zaměření firmy, u které student vykonal odbornou praxi a popis pracovního zařazení studenta.
 - b. Seznam úkolů zadaných studentovi v průběhu odborné praxe s vyjádřením jejich časové náročnosti.
 - c. Zvolený postup řešení zadaných úkolů.
 - d. Teoretické a praktické znalosti a dovednosti získané v průběhu studia uplatněné studentem v průběhu odborné praxe.
 - e. Znalosti či dovednosti scházející studentovi v průběhu odborné praxe.
 - f. Dosažené výsledky v průběhu odborné praxe a její celkové zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

Podle pokynů konzultanta, který vedl odbornou praxi studenta.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Petr Bilík, Ph.D.**


Konzultant bakalářské práce: Ing. Filip Volný

Datum zadání: 01.09.2019

Datum odevzdání: 30.04.2020



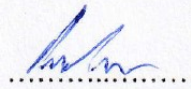

doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry


prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 15. května 2020



.....
podpis studenta

Poděkování

Poděkování bych chtěl věnovat doc. Ing. Petru Bilíkovi, Ph.D. za vstřícnost, rady, ochotu a trpělivost při vedení práce, kolegům Ing. Filipu Volnému, Ing. Lukáši Richtárovi a Ing. Christianu Kremserovi za pomoc a rady při provádění odborné praxe. Dále bych chtěl poděkovat své přítelkyni za trpělivost a všestrannou pomoc při tvorbě práce a v neposlední řadě také své rodině za podporu a zázemí, které mi poskytla.

Prohlášení zástupce spolupracující právnické nebo fyzické osoby

„Souhlasím se zveřejněním této bakalářské práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v bakalářských/magisterských programech VŠB-TU Ostrava.“

Dne: 15. května 2020

FILIP VOLNÝ *Volný*
.....
podpis zástupce



Abstrakt

Tato bakalářská práce popisuje absolvování mé bakalářské praxe ve firmě ATEsystem s.r.o., kde jsem se věnoval řešení úkolů z oblasti strojového vidění. Konkrétně testům proveditelnosti, návrhu vhodných komponent pro sestavení kamerových systémů a vývoji softwarových aplikací. Práce obsahuje teoretickou část obsahující úvod do problematiky strojového vidění. V části praktické je pak popsáno řešení jednotlivých úkolů, návrh a realizace jejich řešení.

Klíčová slova

Strojové vidění, Kamery, Kamerové systémy, Zpracování obrazu, Optická kontrola výroby, Vision Builder

Abstract

This bachelor's thesis describes the completion of my bachelor's internship in the company ATEsystem s.r.o., where I focused on solving tasks in the field of machine vision. Specifically, feasibility tests, design of suitable components for the assembly of camera systems and development of software applications. The thesis contains a theoretical part introducing the machine vision. The practical part describes the solution of individual tasks, design and implementation of their solutions.

Key words

Machine vision, Cameras, Camera systems, Image processing, Optical inspection of the product, Vision Builder

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	- 10 -
Seznam ilustrací	- 11 -
Seznam tabulek	- 12 -
Úvod.....	- 13 -
1 Popis odborného zaměření firmy	- 14 -
2 Popis pracovního zařazení studenta	- 15 -
3 Komponenty kamerového systému pro optickou kontrolu výrobku	- 16 -
3.1 Průmyslové kamery.....	- 16 -
3.2 Snímače	- 16 -
3.3 Komunikační rozhraní.....	- 17 -
3.4 Objektivy.....	- 18 -
3.5 Osvětlovače	- 19 -
4 Seznam zadaných úkolů – studie a testy proveditelnosti	- 21 -
4.1 Testování listů dýhy	- 21 -
4.2 Testování minerální vlny.....	- 22 -
4.3 Testování plechových disků	- 24 -
4.4 Testování bimetalových pásků	- 27 -
4.4.1 Testování pomocí barevné kamery s vyšším rozlišením	- 29 -
4.5 Testování plastových filtrů.....	- 30 -
4.5.1 Testování pomocí jednoho plochého osvětlovače	- 30 -
4.5.2 Testování pomocí dvou plochých osvětlovačů a difuzoru	- 31 -
4.6 Testování LED modulu s optikou	- 33 -
5 Seznam zadaných úkolů – programování aplikací.....	- 36 -
5.1 Vision Builder for Automated Inspection (VBAI).....	- 36 -
5.2 Aplikace pro detekování přechodu mezi kovy bimetalu	- 37 -
5.3 Aplikace pro kontrolu a měření součástky	- 39 -
6 Teoretické a praktické znalosti a dovednosti získané v průběhu studia uplatněné studentem v průběhu odborné praxe	- 42 -
7 Znalosti či dovednosti scházející studentovi v průběhu odborné praxe	- 43 -
8 Dosažené výsledky v průběhu odborné praxe a její celkové zhodnocení	- 44 -

Použitá literatura	- 45 -
Seznam příloh.....	I

Seznam použitých zkratk a symbolů

HSL	Hue Saturation Lightness
HW	Hardware
Mpx	Megapixel
NI	National Instruments
PoCL	Power over Camera Link
PoE	Power over Ethernet
px	Pixel
VBAI	Vision Builder for Automated Inspection

Seznam ilustrací

Obrázek 1: a) Plošná kamera [4] b) Řádková kamera [5]	- 16 -
Obrázek 2: Rozdíl mezi standartním (endocentrickým) a telecentrickým objektivem [10].....	- 19 -
Obrázek 3: Konstrukce světla typu temné pole [13].....	- 19 -
Obrázek 4: a) Temné pole osvětlující hladký povrch b) Temné pole osvětlující vadu povrchu [13]	- 20 -
Obrázek 5: Příklad použití osvětlovače typu dome [14].....	- 20 -
Obrázek 6: a) Použitý kamerový systém b) Výsledný snímek dýhy s prasklinou	- 22 -
Obrázek 7: Použitý kamerový systém	- 23 -
Obrázek 8: Minerální vlna nasvícena temným polem	- 23 -
Obrázek 9: Vzorek vlny s jinou strukturou a hloubkou kruhového otvoru	- 24 -
Obrázek 10: a) Zapečený vlas na disku b) Povrchová vada disku.....	- 24 -
Obrázek 11: Použitý kamerový systém	- 25 -
Obrázek 12: Plechový disk s vadou v podobě skvrn na laku	- 26 -
Obrázek 13: Výřez z Obrázku 12, zobrazující vadu v podobě skvrn na laku	- 26 -
Obrázek 14: Bimetalový pásek s vyznačeným spojem dvou kovů (přechodem)	- 27 -
Obrázek 15: Příklad použití a) Kruhového osvětlovače [15] b) Pružového osvětlovače [16].....	- 27 -
Obrázek 16: Černobílé snímky bimetalu a) Menší přechod b) Větší přechod	- 28 -
Obrázek 17: Barevné snímky bimetalu a) Menší přechod b) Větší přechod	- 28 -
Obrázek 18: Použitý kamerový systém	- 29 -
Obrázek 19: Snímek bimetalu s výše popsanou vadou	- 29 -
Obrázek 20: Použitý kamerový systém	- 30 -
Obrázek 21: Poškozený filtr s pavučinou ve vnitřní struktuře.....	- 31 -
Obrázek 22: Poškozený filtr s úlomky materiálu na vnějším okraji	- 31 -
Obrázek 23: Kamerový systém s dvěma osvětlovači a difuzorem	- 32 -
Obrázek 24: Snímek pořízený systémem s dvěma osvětlovači a difuzorem	- 32 -
Obrázek 25: LED modul s optikou nasvícený pomocí bodového osvětlovače	- 33 -
Obrázek 26: LED modul s optikou nasvícený pomocí Dome a bodového osvětlovače.....	- 34 -
Obrázek 27: Finální systém pro snímání LED modulu s optikou	- 34 -
Obrázek 28: Snímek pořízený finálním systémem	- 35 -
Obrázek 29: Uživatelské rozhraní (konfigurační mód).....	- 36 -
Obrázek 30: Barevný prostor HSL [19].....	- 37 -
Obrázek 31: Nastavitelné parametry funkce.....	- 38 -
Obrázek 32: Příklad detekce přechodu mezi kovy na vzorku bimetalu.....	- 38 -
Obrázek 33: a) Použitý kamerový systém b) Výsledný snímek výrobku.....	- 39 -
Obrázek 34: Funkce "Match Pattern"	- 40 -
Obrázek 35: Výsledek inspekce kontrolovaného výrobku.....	- 41 -

Seznam tabulek

Tabulka 1: Srovnání vlastností CCD a CMOS snímačů [3], [8]..... - 17 -

Úvod

Strojové vidění jakožto pojem, který je často používán pro výrobní a průmyslové systémy zpracovávající obrazovou informaci z kamery, je v posledních letech a desetiletích stále častěji skloňován. Důvodem jsou požadavky společností na větší variabilitu (pružnost) výroby a také produktivitu za optimálního využití strojů. Pro naplnění zmíněných požadavků je však nezbytně nutné zabývat se také otázkou výsledné kvality výrobku a bezpečnosti při jeho výrobě [1].

V souvislosti s výše zmíněnými informacemi tak stále více na významu nabývá optická kontrola kvality výrobku. To, co donedávna ve valné většině případů prováděla lidská obsluha, je teď možné s výrazně vyšší kvalitou realizovat pomocí systémů strojového vidění. Ty jsou schopny pracovat v extrémně krátkých cyklech, což je jedna z mála vlastností, které napomáhají výrazně snížit počet zmetků [1].

Tato bakalářská práce je závěrečnou zprávou z absolvování odborné praxe ve firmě ATEsystem s.r.o., která se v oblasti strojového vidění pohybuje.

První část práce se zabývá úvodem do problematiky strojového vidění, který je shrnut do pěti podkapitol. V první kapitole jsou popsány průmyslové kamery, jakožto základní prvek každé optické kontroly výrobku (systému strojového vidění). Kapitola pojednává o důležitosti a parametrech kamer, jejich základním rozdělení dle snímače a využití kamer s daným snímačem v různých typech aplikací. Další kapitola porovnává dva druhy snímačů (CCD a CMOS), které je možno v průmyslových kamerách nalézt. Nastiňuje princip jejich fungování a porovnává klíčové parametry, které ovlivňují výslednou kvalitu pořízeného snímku. Třetí kapitola rozebírá jednotlivá komunikační rozhraní, používaná pro propojení kamery s počítačem pro přenos dat, jejich parametry, výhody a nevýhody vůči ostatním rozhraním. V posledních dvou kapitolách jsou stručně uvedeny další důležité komponenty systému strojového vidění, kterými jsou objektivy a osvětlovače. Popsán je jejich důležitý úkol v rámci systému a princip výběru. Dále pak princip některých osvětlovačů a objektivů, použitých při řešení úkolů v rámci další části práce.

Druhá, praktická část práce je věnována popisu postupu řešení jednotlivých úkolů zadávaných konzultantem. Popisováno je prve řešení studií proveditelnosti a návrh komponent kamerových systémů, který spočívá v analýze problému (vady atd.), návrhu vhodné kamery, objektivu, osvětlovače a popřípadě dalších periférií na základě analýzy, výpočtů a předchozích zkušeností. Navržený a sestavený systém je pak testován. Výstupní data (pořízené snímky) jsou následně analyzovány a je posouzeno, zda je výsledek testování dostačující pro následnou implementaci kamerového systému do praxe. Dále je v praktické části popsáno řešení úkolů spočívajících ve vývoji softwarových aplikací pro analýzu a vyhodnocování výstupních dat z kamerového systému. Aplikace jsou schopny detekovat například počet objektů ve snímané scéně, nebo zda je kontrolovaný výrobek poškozen. Následně jsou výsledná data zobrazena pomocí indikátorů, případně dále poslána do nadřazeného systému.

Závěr této bakalářské práce bude věnován zhodnocení dosažených výsledků v průběhu praxe, scházejícím a nabytým znalostem, zkušenostem a dovednostem.

1 Popis odborného zaměření firmy

Firma ATEsystem s.r.o. působí v oblasti strojového vidění a zabývá se pestrou škálou služeb napříč všemi odvětvími průmyslové výroby, jako je například automobilový, potravinářský, či plastikářský průmysl. Mezi nabízené služby patří například studie a testy proveditelnosti, systémová integrace produktů NI a distribuce kamer a komponent pro strojové vidění.

Studie a testy proveditelnosti je nutné provést proto, aby bylo možné zjistit, zda je úkol proveditelný. Tento proces zpravidla také objasní, jaké metody a technologie je nutné při řešení použít.

Firma ATEsystem s.r.o. byla v roce 2018, jako první v ČR, zařazena do skupiny partnerů National Instruments s certifikací Vision Speciality. Tím se stala certifikovaným expertem v oblasti vizuální inspekce a strojového vidění, což firmě umožnilo poskytovat odborné poradenství a školení na produkty NI. Nejen firma samotná, ale i řada programátorů disponuje různými úrovněmi certifikací National Instruments pro LabVIEW [2].

V neposlední řadě se firma zabývá také distribucí kamer a komponent pro strojové vidění. Je autorizovaným distributorem značek BASLER, JAI, National Instruments, SVS-Vistek, Automation Technology atd. Mezi distribuované komponenty patří osvětlovače, objektivy, filtry, software atd.

2 Popis pracovního zařazení studenta

Mé pracovní zařazení se nacházelo v oddělení kamer a komponent, což je oddělení, které se zabývá distribucí průmyslových kamer a souvisejících produktů, technickou podporou, návrhem vhodných komponent pro konkrétní aplikaci, zpracováním studie proveditelnosti, testováním vzorků atd.

V kanceláři oddělení mi bylo přiděleno pracovní místo, kde mi byly konzultantem zadávány jednotlivé úkoly k provedení. Mezi zadanými úkoly byly nejčastěji testy proveditelnosti kamerových testů na vzorcích, které byly zaslány zákazníkem spolu s popisem úkolu, či problému, jenž měl být řešen. Dalšími úkoly byly například instalace a celková příprava průmyslových PC pro konkrétní aplikaci, kde bylo nutné nainstalovat příslušný software a nastavit chování počítače tak, aby odpovídalo zadaným požadavkům. Dále pak také studování softwaru, za účelem zjištění, zda je možné použít funkce, které obsahuje pro řešení konkrétního úkolu.

3 Komponenty kamerového systému pro optickou kontrolu výroby

3.1 Průmyslové kamery

Mezi hlavní komponent kamerového systému nepochybně patří průmyslová kamera. Ta je z velké části zodpovědná za výslednou kvalitu pořízeného snímku. Průmyslové kamery lze rozdělit na dvě základní skupiny, a to podle snímače. Konkrétně se dělí na kamery řádkové (viz Obrázek 1 b)), ty disponují snímačem, který má pouze jeden řádek pixelů (speciální typy například i dva řádky) a kamery plošné (maticové) (viz Obrázek 1 a)), které jsou vybaveny plošným (čtvercovým, či obdélníkovým) snímačem [3].



Obrázek 1: a) Plošná kamera [4] b) Řádková kamera [5]

Výstupem z plošné kamery je 2D obraz, složený z jednotlivých pixelů snímače, kde jeden pixel je jedna obrazová informace. Plošné kamery nacházejí využití tam, kde je žádoucí vytvořit snímek výrobku najednou, například statických objektů. Řádkové kamery, jak již bylo zmíněno, disponují snímačem, který má v principu jeden řádek pixelů. Kamera snímá pohybující se objekt pod ní řádek po řádku a následně skládá výsledný obraz. Tento typ kamer je vhodný ke snímání výrobků jezdících po nekonečném pásu, inspekci potisku na odvíjející se roli papíru nebo například kruhových předmětů, které je potřeba kontrolovat zboku [3], [6].

Po výběru z těchto základních typů kamer je dále nutné se zaměřit na parametry, jako například rozlišení snímačů, velikost snímače, velikost pixelů, frekvence snímání nebo zda snímá kamera obraz černobíle, či barevně. U volby rozlišení snímače je nutné vzít v potaz, aby interval vzorkování obrazu v matici byl menší nebo rovný polovině nejmenšího požadovaného snímaného detailu (obdobu Shannonovy věty ve zpracování obrazu) [3], [7].

3.2 Snímače

Využívání snímačů světelné energie začalo v 70. letech 20. století. Jsou rozdělovány na dvě skupiny. První skupinou jsou snímače pracující na fotoemisivním principu, které využívají vnější fotoelektrický jev. Z tohoto důvodu nemá skupina těchto snímačů v současné době v oblasti strojového vidění hojně využití. Do druhé, mnohem více používané skupiny, patří snímače na fotovoltaiickém nebo

fotovodivostním principu, které využívají vnitřní fotoelektrický jev. Do této skupiny patří dva základní typy snímačů využívaných v průmyslu, a to konkrétně CCD a CMOS [3].

Název CCD (Charge-Coupled Device), tedy zařízení s vázanými náboji je odvozen ze způsobu, jakým snímač načítá světlo po expozici svého fotocitlivého povrchu. CCD využívají již zmíněného fotoelektrického jevu (fotoefektu). CMOS snímače využívají také fotoefektu a tím pádem je jejich konstrukce relativně podobná snímačům CCD. To však neznamená, že by si byly oba druhy ve všem podobné. CCD pro své fungování vyžaduje externí elektroniku, kdežto každá buňka (pixel) u CMOS má svůj vlastní zesilovač. Tím pádem je také možné jednotlivé pixely adresovat a číst, což výrazně zrychluje čtení obrazu, které je u CCD naopak velmi pomalé, jelikož náboje v buňkách posouvá po řádcích do načítacího registru, odkud jsou náboje opět postupně vyčítány (sekvenční čtení). Vlivem integrované elektroniky u CMOS je však zmenšena fotocitlivá plocha buňky a vyžaduje tak větší zesílení, což výrazně zvyšuje obrazový šum. Oba typy snímačů tedy mají své klady i zápory (viz Tabulka 1) a každý z nich je vhodný pro jiné použití [3], [8].

Tabulka 1: Srovnání vlastností CCD a CMOS snímačů [3], [8]

Parametr	CCD	CMOS
Citlivost	Velmi vysoká, lepší barevná věrnost	Nízká, nutnost dobrých světelných podmínek
Šum	Malý, vysoká kvalita obrazu	Větší, kvůli menší fotocitlivé ploše buňky
Rychlost	Nízká, kvůli sekvenčnímu čtení	Vysoká, díky schopnosti vyčítat buňky maticově
Dynamický rozsah	Vysoký	Průměrný
Složitost snímače	Nízká	Vysoká
Odběr energie	Mnohonásobně větší než u CMOS	Nízký
Cena	Vysoká	Nížší

3.3 Komunikační rozhraní

Návrh a výběr kamery doprovází také výběr jejího komunikačního rozhraní, které pro následné použití a fungování hraje velkou roli, jelikož může ovlivnit spolehlivost, cenu a výkon celého systému. Na výběr je široké spektrum rozhraní, přičemž každé z nich vyčnívá specifickou vlastností a je vhodné pro jiné použití [3], [9].

Mezi bezesporu nejpoužívanější rozhraní patří Gigabitový Ethernet disponující maximální přenosovou rychlostí 120 MB/s, délkou kabeláže až 100 metrů a standardem GigE Vision. Mezi výhody Ethernetu patří možnost připojení více kamer do jedné sítě, možnost využití síťových switchů a routerů pro připojení, schopnost napájení kamery přes PoE, nízká cena a také fakt, že Ethernetové rozhraní je standardní výbavou všech počítačů. Nevýhodou je pak vyšší zátěž procesoru počítače než u jiných rozhraní [3], [9].

USB 3.0 je dalším velmi často používaným rozhraním pro připojení kamery k počítači. Disponuje přenosovou rychlostí 350 MB/s, délkou kabeláže až 5 metrů a standardem USB3 Vision. Výhodou jako u Ethernetu je nízká cena a častá vybavenost počítačů rozhraními USB. Připojení rozhraní k počítači je jednoduché, takzvaně "plug & play" a tomu napomáhá i fakt, že kameru lze skrze USB 3.0 i napájet. Ve srovnání s Ethernetem procesor počítače zatěžuje velmi málo, avšak připojení více kamer k jednomu systému je obtížnější. Rozhraní je využíváno jak v průmyslu, tak i mimo něj, například v obchodech či laboratořích [3], [9].

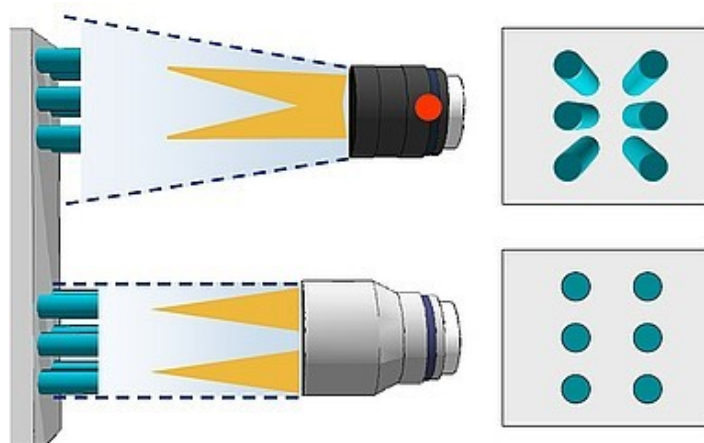
Mezi další používaná, avšak více specifická rozhraní patří například Camera Link s přenosovou rychlostí až 850 MB/s, délkou kabeláže až 10 metrů, extrémně nízkou latencí a možností napájení přes PoCL. Tyto vlastnosti však značně ovlivňují cenu, která je mnohem vyšší než u rozhraní zmíněných výše. Nevýhodou je také nutnost instalace externí karty (frame grabberu) s tímto rozhraním do počítače a složitější nastavení komunikace mezi kamerou a externí kartou. Využití tento typ rozhraní nachází zejména v aplikacích pro vysokorychlostní, nebo řádkové kamery [3], [9].

Posledním a velmi perspektivním rozhraním do budoucna je CoaXPress. Jeho přenosová rychlost může dosáhnout, díky možnosti agregaci linek, až 3125 MB/s, přičemž jeho standardní rychlost je 780 MB/s. Díky rychlosti, propracovanému komunikačnímu protokolu, nízké ceně kabeláže o délce až 100 metrů a velmi nízké latenci je doporučován pro použití u projektů s požadavkem na vysokou rychlost snímání. Nevýhodou je pak vysoká cena samotného rozhraní a stejně jako u CameraLink, potřeba externí komunikační karty [3], [9].

3.4 Objektivy

Dalším komponentem je objektiv kamery. Tvoří nedílnou součást kamerového systému a jeho výběru musí být věnována velká pozornost, jelikož jeho úkolem je co nejpřesněji napodobovat perspektivní, projektivní a středové zobrazení. Volba objektivu se odvíjí zejména od požadované pracovní vzdálenosti nebo velikosti zorného pole. Těchto parametrů lze dosáhnout zvolením vhodné ohniskové vzdálenosti. K dalším důležitým parametrům patří například hloubka ostrosti, rozlišení, spektrální propustnost či odolnost objektivu [3].

Speciálním typem je objektiv telecentrický, který slouží k provádění velmi přesných měření (viz Obrázek 2). Jeho charakteristickou vlastností je, že průměr vstupního členu optické soustavy je shodný s úhlopříčkou zorného pole. Paprsky tak vcházejí do objektivu paralelně s jeho osou a díky tomu je zvětšení konstantní, nezávisle na vzdálenosti jsou proto snímány objekty stejně velké. Při použití telecentrického objektivu je však nutné brát v potaz skutečnost, že zaostřit objekt je možné jedině jeho přiblížením či oddálením od objektivu [10], [11].

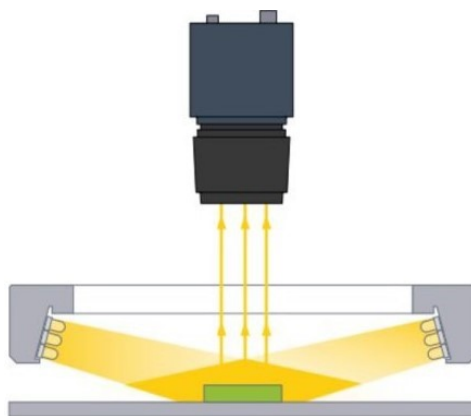


Obrázek 2: Rozdíl mezi standartním (endocentrickým) a telecentrickým objektivem [10]

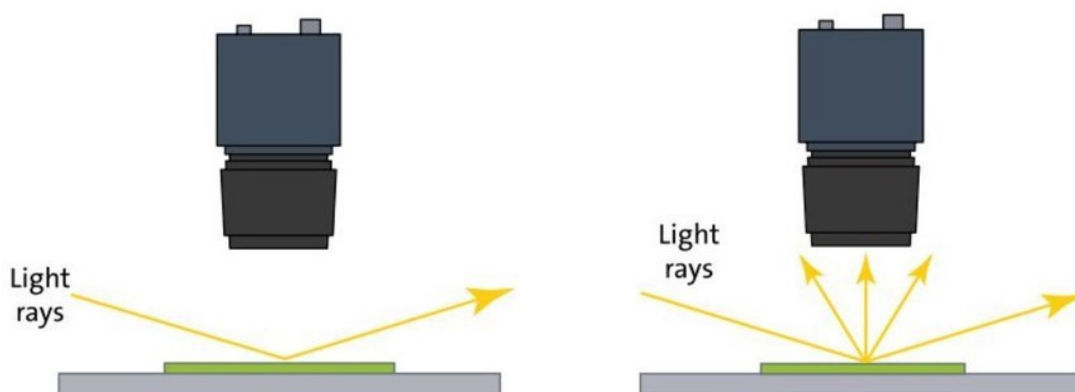
3.5 Osvětlovače

Posledním z hlavních komponentů systému je průmyslový osvětlovač, na kterém také výrazně závisí výsledná kvalita obrazové informace a je nutné, aby disponoval kvalitním zdrojem světla, například stabilními LED, s dlouhou životností a konstantní svítivostí v čase. Pro následné zpracování obrazu je rozhodující záření dopadající na snímač. Proto je korektní nasvícení snímaného objektu často tím nejdůležitějším, ale zároveň i nejobtížnějším úkolem. K základním principům pak patří buď přední nasvícení (front light) nebo zadní nasvícení (back light). Dále lze osvětlovače navrhovat například podle toho, na jaké vlnové délky záření je snímač citlivý, zda má výrobek matný, či lesklý povrch, podle charakteru vad nebo rozměrů výrobku. Níže je popsán princip dvou konkrétních typů osvětlovačů často používaných ve výsledných aplikacích [3], [12].

Osvětlovač typu temné pole má prstencovitý tvar a po jeho obvodu jsou namontovány LED, které svítí pod malým úhlem (v rovině téměř kolmé k ose objektivu) (viz Obrázek 3). Temné pole je tak nutné umístit těsně nad snímaný objekt. Při osvětlení hladkého rovného povrchu dopadne většina světla odraženého od povrchu mimo zorné pole kamery (viz Obrázek 4 a)). Využití pak tento osvětlovač nachází převážně při detekci povrchových nerovností, vad, kontur objektů a škrábanců, jelikož právě tyto druhy nerovností způsobí, že paprsky světla z LED se rozptýlí a část je odražena na snímač kamery (viz Obrázek 4 b)) [13].

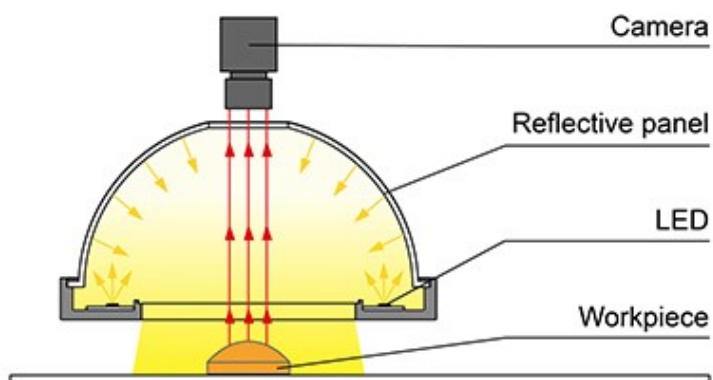


Obrázek 3: Konstrukce světla typu temné pole [13]



Obrázek 4: a) *Temné pole osvětlující hladký povrch* b) *Temné pole osvětlující vadu povrchu* [13]

Osvětlovač typu dome má ve spodní části konstrukce (viz Obrázek 5) umístěny LED, které vyzařují světlo, a to se následně odráží od vnitřní strany kupole směrem na snímáný objekt pod osvětlovačem. Disponuje tak velmi dobře rozptýleným světlem, což zaručuje homogenní nasvícení i velmi členitých objektů a povrchů. Ovšem v místě, kde se nachází otvor pro kameru, se světlo neodrazí od těla kupole na snímáný objekt, ale projde skrz a na výsledném snímku se kvůli tomu vytvoří tmavší místo. Využití nachází například při čtení kódů, nebo textů na obalech [3].



Obrázek 5: *Příklad použití osvětlovače typu dome* [14]

4 Seznam zadaných úkolů – studie a testy proveditelnosti

Studie a testy proveditelnosti jsou důležitou a neoddělitelnou součástí procesu návrhu aplikace v oblasti strojového vidění. Při každém řešení zadaného problému je proto studie i testy nezbytně nutné provést, aby nedocházelo k plýtvání časem, prací nebo prostředky. V první řadě je potřeba zjistit, zda je vůbec zadaný problém možné vyřešit nebo je zadání nerealizovatelné, a to ať už z finančních, technologických či jiných důvodů.

Prvním krokem je konzultace problému se zákazníkem. Ten vznese požadavky na výslednou aplikaci a ty jsou podle odhadů, znalostí a zkušeností předběžně schváleny nebo zamítnuty. Je také důležité vzít v potaz podmínky v provozu, jako například omezený prostor kolem zkoumaného vzorku, vibrace, prašnost či osvětlení. Dalším krokem je zapůjčení vzorku výrobku a samotný návrh HW komponent pro výsledný kamerový systém. Komponenty systému jsou navrhovány a vybírány dle zadání a následně testovány na zapůjčeném vzorku.

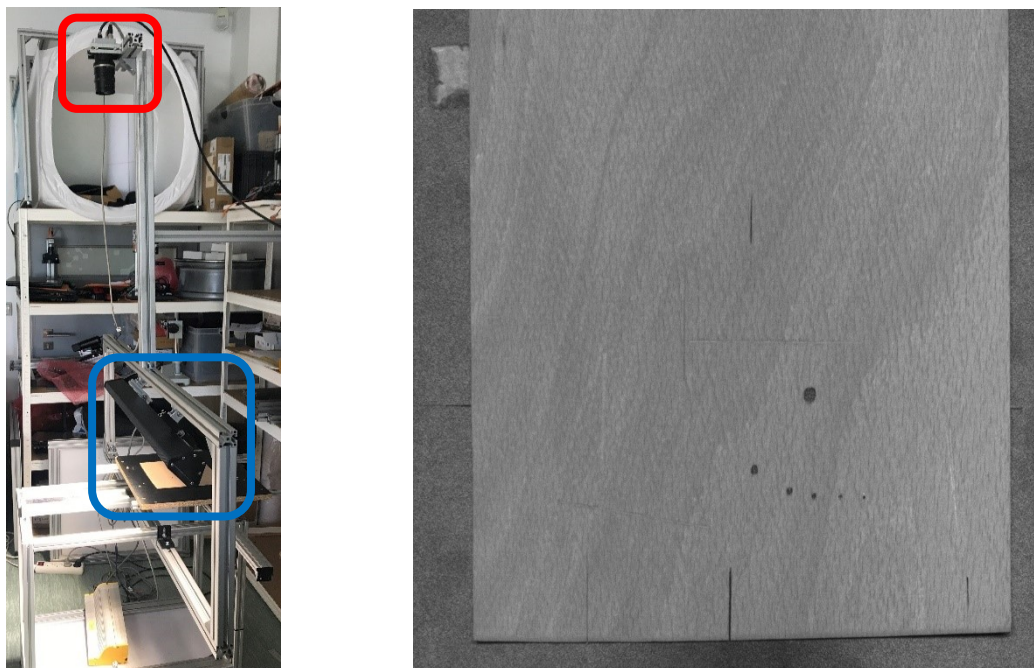
Časová náročnost: 35 dní

4.1 Testování listů dýhy

V tomto testu bylo úkolem kontrolovat tenké listy dýhy, označené modrým rámečkem (viz obrázek 6 a)), na kterých se mohly nacházet povrchové vady nebo vady jiného charakteru, jako například různé praskliny či suky. Zadáním testu bylo zjistit, zda jsou pomocí kamerového systému detekovatelné vady v podobě prasklin.

Samotné snímání dýhy bylo prováděno na pojezdu s elektrickým motorem, který simuloval dopravníkový pás ve výrobě. Zákazníkem totiž bylo specifikováno, že listy dýhy leží na dopravníkovém pásu, tudíž bylo vhodné podmínky ve výrobě nasimulovat. Pořizování snímků bylo prováděno pomocí řádkové kamery, označené červeným rámečkem (viz Obrázek 6 a)), raL12288-8gm firmy Basler s rozlišením 12288×1 px, díky čemuž bude pořízený snímek disponovat dostatečnou obrazovou informací, dále pak pomocí objektivu LM35LF firmy Kowa s ohniskovou vzdáleností 35 mm a pomocí výkonného průmyslového osvětlovače, označeného modrým rámečkem (viz Obrázek 6 a)).

Řádková kamera byla synchronizována s elektrickým pojezdem pomocí encoderu v pojezdu. Při každém pulzu encoderu sejmula kamera jeden řádek, který byl uložen pro následné složení celkového snímku ze všech jednotlivých řádků. Jelikož byl výsledný snímek (viz Obrázek 6 b)) vysokého rozlišení a dýha kvalitně osvětlena, byly praskliny v dýze velice dobře viditelné a rozpoznatelné.



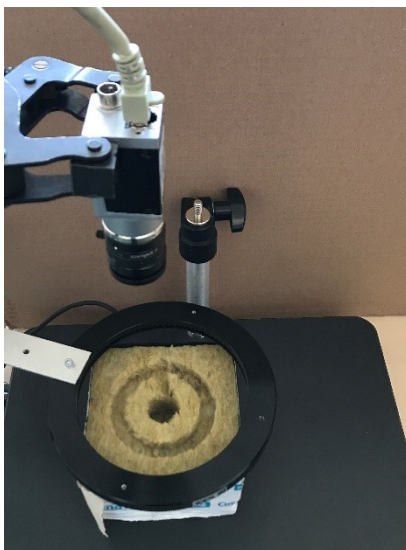
Obrázek 6: a) Použitý kamerový systém b) Výsledný snímek dýhy s prasklinou

Výsledky testu tedy byly pozitivní a mohly být dále představeny a konzultovány se zákazníkem. Poté byla vyvíjena softwarová aplikace a prováděno testování v reálném provozu, ze kterého bylo vyhodnoceno, zda je možné systém a aplikaci použít.

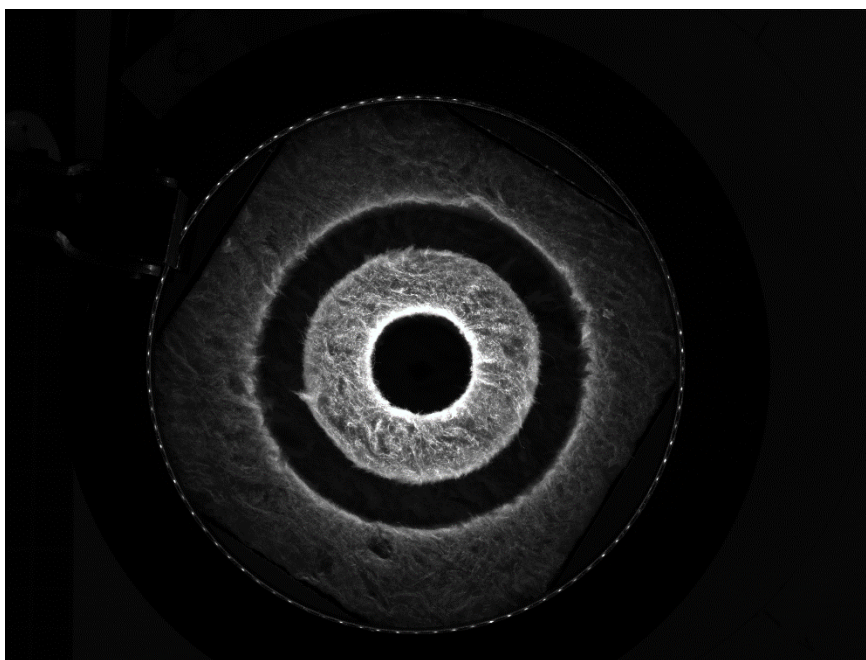
4.2 Testování minerální vlny

Úkolem tohoto testu bylo nasnímat vzorky minerální vlny (viz Obrázek 7) určené k pěstování rostlin. Zákazníkem byl zaslán požadavek na zobrazení kruhových otvorů ve vzorcích a na jejich měření s přesností 2 mm.

Ke snímání vaty byla použita plošná monochromatická kamera acA2040-55um firmy Basler s rozlišením 3 Mpx a maximální frekvencí snímání 55 snímků za sekundu při daném rozlišení, dále objektiv M2514-MP2 s ohniskovou vzdáleností 25 mm. Osvětlení vlny bylo v průběhu testu měněno za účelem zjištění optimálního nasvícení. Byl použit například osvětlovač typu dark field, (tzv. temné pole) LDR-146RD2-LA1, jehož princip je popsán v kapitole 3.5 nebo LDR2-90RD2 firmy CCS a koaxiální osvětlovač RT-CAS2 firmy Opto Engineering.

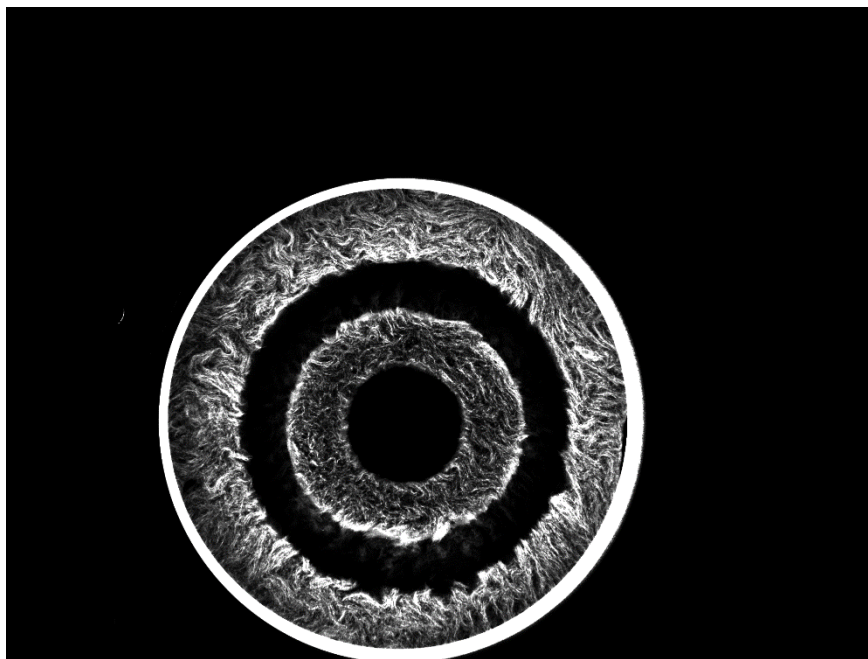


Obrázek 7: Použitý kamerový systém



Obrázek 8: Minerální vlna nasvícena temným polem

Temné pole tedy pomohlo zvýraznit obvody otvorů (viz Obrázek 8), bohužel však nebylo možné následně měřit jejich velikost se zadanou přesností, a to z důvodu struktury vlny. Ta byla značně nerovná, a navíc se u některých vzorků lišila, což znamenalo změnu podmínek pro měření. Co se týče kontrastu, ten byl závislý na hloubce otvoru. Některé vzorky neměly kruhové otvory dostatečně hluboké a tím pádem byla vidět vlna na dně otvoru, což by mohlo ovlivnit měření (viz Obrázek 9).



Obrázek 9: Vzorek vlny s jinou strukturou a hloubkou kruhového otvoru

Výsledkem úkolu bylo, že vzorky minerální vlny pravděpodobně není možné měřit se zadanou přesností, z důvodu její složité struktury.

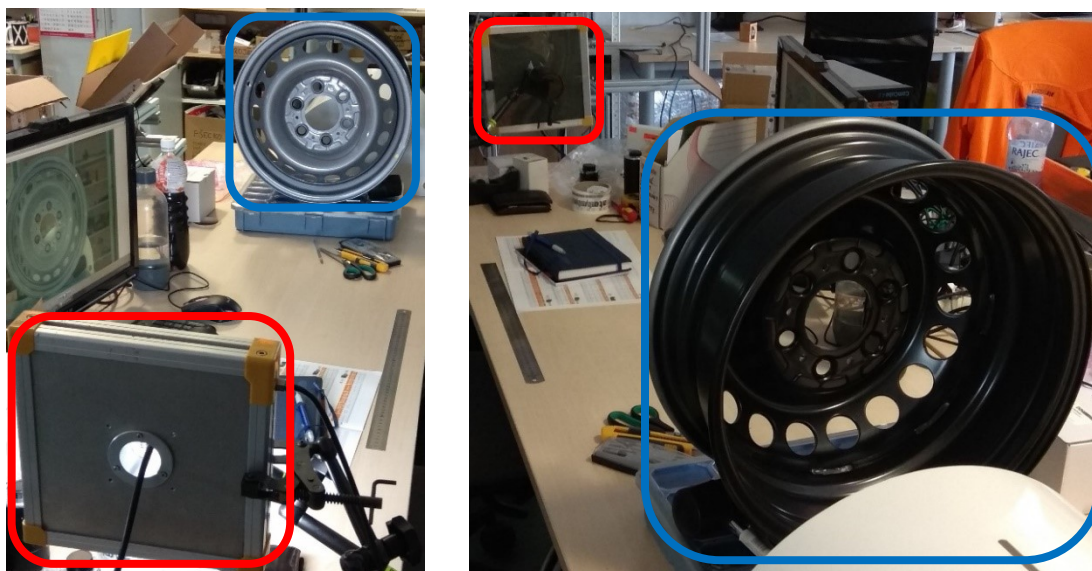
4.3 Testování plechových disků

Zadáním tohoto testu bylo nasnímat vady na vzorcích plechových disků označených modrým rámečkem (viz obrázek 11) a zjišťovat přítomnost černého laku v kruhových otvorech disků, které byly zákazníkem dodány. Vady byly různorodého charakteru a patřily mezi ně například zapečený vlas na povrchu disku (viz Obrázek 10 a)), povrchová nerovnost disku (viz Obrázek 10 b)) nebo nežádoucí skvrny v důsledku nedokonalého nanesení laku. Pro snadnější orientaci při snímání byly vady zvýrazněny červenou barvou.



Obrázek 10: a) Zapečený vlas na disku b) Povrchová vada disku

Kamerový systém pro snímání byl složen z kamery acA5472-17uc firmy Basler s rozlišením 20 Mpx a maximální frekvencí snímání 17 snímků za sekundu při daném rozlišení, objektivu M111FM25 firmy Tamron s ohniskovou vzdáleností 25 mm a osvětlovače EFFI-FD typu flat dome s homogenním osvětlem firmy EFFILUX. Kamera, objektiv a osvětlovač byly označeny červeným rámečkem (viz Obrázek 11). Systém byl navržen tak, aby bylo možné snímat celou plochu disku, a přitom bylo ponecháno dostatečné rozlišení pro snímání vad.



Obrázek 11: Použitý kamerový systém

Ihned po začátku snímání nastal problém s častými odlesky světla na disku. Tudíž musel být na světlo a na objektiv přidán polarizační filtr, který měl daný problém vyřešit. Díky filtru se úspěšně podařilo odlesky minimalizovat. Další problémy pak nastávaly přímo u snímání vad, jelikož některé vady, jako například zapečený vlas bylo velmi těžké rozpoznat kvůli jeho malým rozměrům. Dále pak muselo být bráno v potaz to, že vady se mohou nacházet v podstatě kdekoli na disku a je tak nemožné je vždy detekovat už jen z tohoto důvodu. Vady v podobě skvrn (viz Obrázek 12, Obrázek 13) byly poměrně dobře detekovatelné, jelikož byly černé a lak disku stříbrný. Kontrast mezi barvami byl po odstranění odlesků celkem dobře viditelný a vadu tak bylo možné rozpoznat. Co se týče povrchových nerovností, opět platilo, že pokud byla nerovnost velice malá, detekování bylo téměř nemožné. U vad, které měly rozměry poněkud větší byla detekce za určitých podmínek možná, ovšem velmi náročná. Náročnost detekce se také odvíjela od faktu, že nerovnosti byly stejné barvy jako samotné disky. Kontrola přítomnosti černého laku byla úspěšná, jelikož má otvor v disku vždy kruhový tvar, nachází se na každém disku na stejných pozicích a kontrast mezi černým a stříbrným lakem je snadno detekovatelný. Aplikace by tedy s kontrolou černého laku neměla mít sebemenší problém.



Obrázek 12: *Plechový disk s vadou v podobě skvrn na laku*

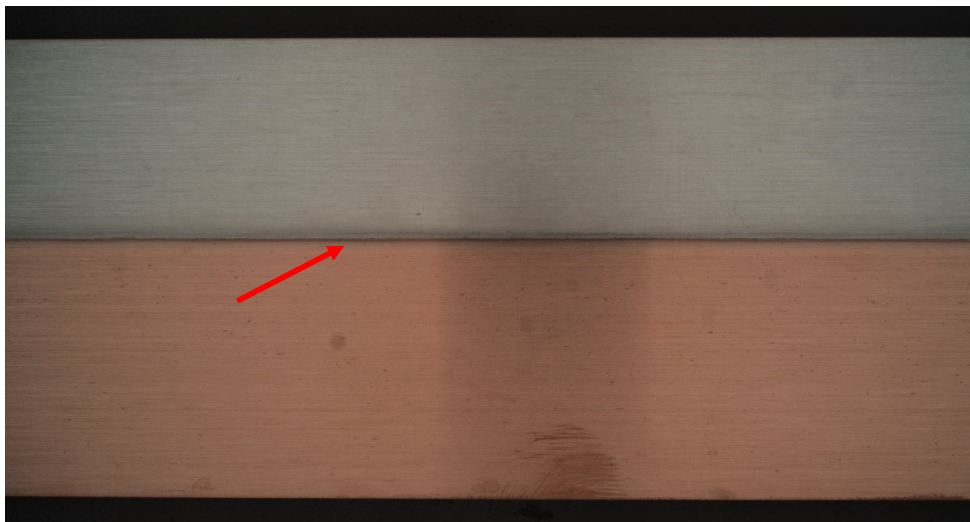


Obrázek 13: *Výřez z Obrázku 12, zobrazující vadu v podobě skvrn na laku*

Je tedy otázkou, zda by bylo možné softwarově kontrolovat vady, které nejsou vždy rozpoznatelné ani lidským okem, natož pak kamerovým systémem s takovou přesností, aby byl zákazník spokojen. Další otázkou je, zda by bylo možné dosáhnout podobných výsledků také v provozu, kde mohou panovat zcela jiné podmínky než ty laboratorní.

4.4 Testování bimetalových pásků

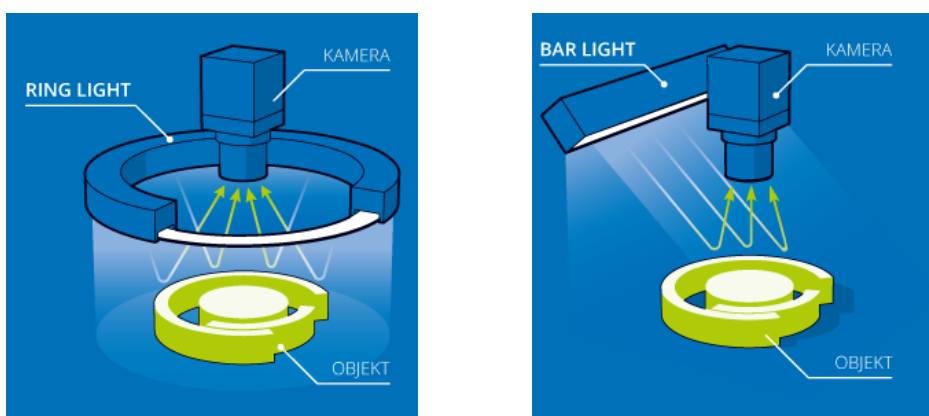
Tento test spočíval ve snímání bimetalového pásku, jehož část (75 mm) je vidět na obrázku níže (viz Obrázek 14), a to konkrétně v co nejlepším zobrazení přechodu mezi jednotlivými kovy, ze kterých je vytvořen.



Obrázek 14: Bimetalový pásek s vyznačeným spojem dvou kovů (přechodem)

Pro tento úkol byly použity dva kamerové systémy. Prvotní nápad byl snímat pásek plošnou monochromatickou kamerou acA640-120gm firmy Basler, s rozlišením standardu VGA, s objektivem M2514-MP2 firmy Computar s ohniskovou vzdáleností 25 mm a kruhovým osvětlovačem (viz Obrázek 15 a)) RL-100R60 firmy Smart View s vyzařovaným světlem o vlnové délce 634 nm (tedy červená) a s vyzařovacím úhlem 60 °.

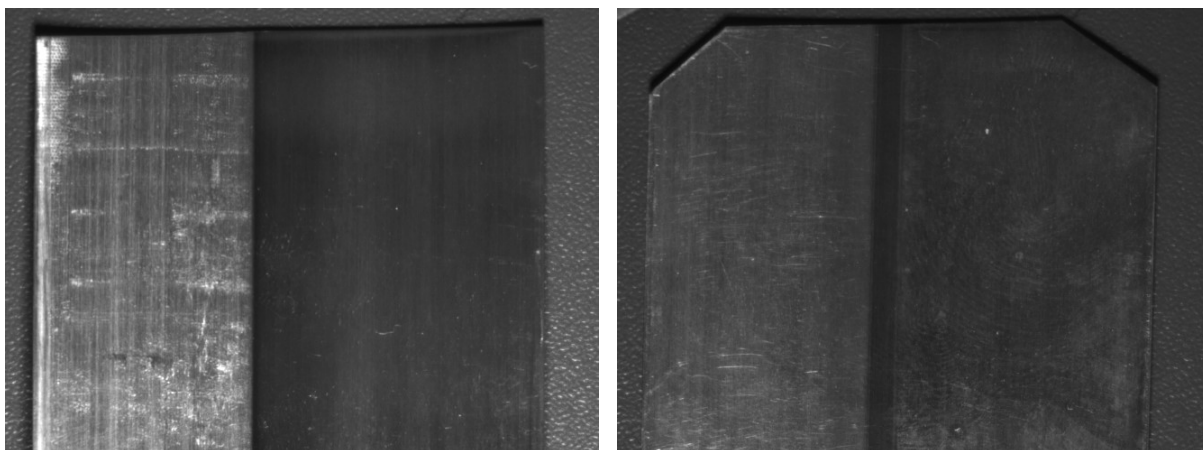
Druhý systém byl naopak složen z plošné barevné kamery acA1300-75gc firmy Basler s rozlišením 1,3 Mpx, stejného objektivu jako v prvním systému, tedy M2514-MP2 firmy Computar a z pruhového osvětlovače (viz Obrázek 15 b)) LL-120W120, který vyzařoval bílé světlo s vyzařovacím úhlem 120 °.



Obrázek 15: Příklad použití a) Kruhového osvětlovače [15] b) Pruhového osvětlovače [16]

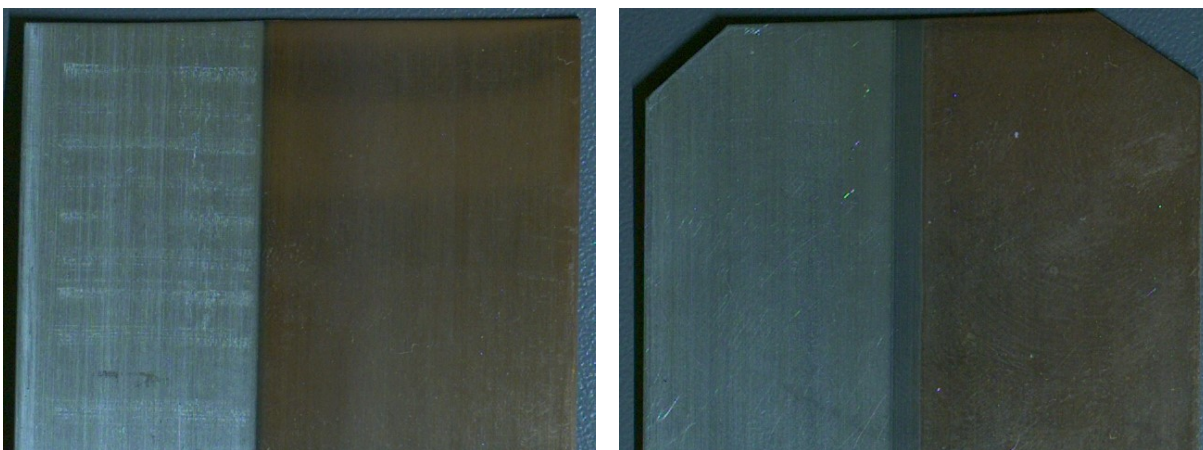
Při samotném snímání bimetalu pak nastávaly různé problémy. Vzorky pásků měly přechod mezi kovy různě široký a často měl přechod také jinou barvu, tudíž se na různých snímcích jevil jinak a byl tedy hůře rozpoznatelný.

Systém s monochromatickou kamerou tak sice byl schopen relativně dobře nasnímat pásek jako celek, ovšem přechod mezi kovy už ne, a to kvůli výše zmíněným problémům a také tomu, že kontrast mezi přechodem a jedním z kovů byl často minimální. Ze snímku (viz Obrázek 16 a), Obrázek 16 b)) tedy nebylo možné přesně říct, kde přechod začíná nebo končí.



Obrázek 16: Černobílé snímky bimetalu a) Menší přechod b) Větší přechod

Systém s barevnou kamerou byl naopak schopen přechod nasnímat lépe (viz Obrázek 17 a), Obrázek 17 b)). Nehrály zde takovou roli rozměry přechodu a kontrast mezi přechodem a kovy byl znatelnější.



Obrázek 17: Barevné snímky bimetalu a) Menší přechod b) Větší přechod

Závěrem z tohoto testování je tedy to, že při dalším postupu v úkolu by bylo účelnější použít barevnou kameru, právě kvůli výše zmíněným důvodům.

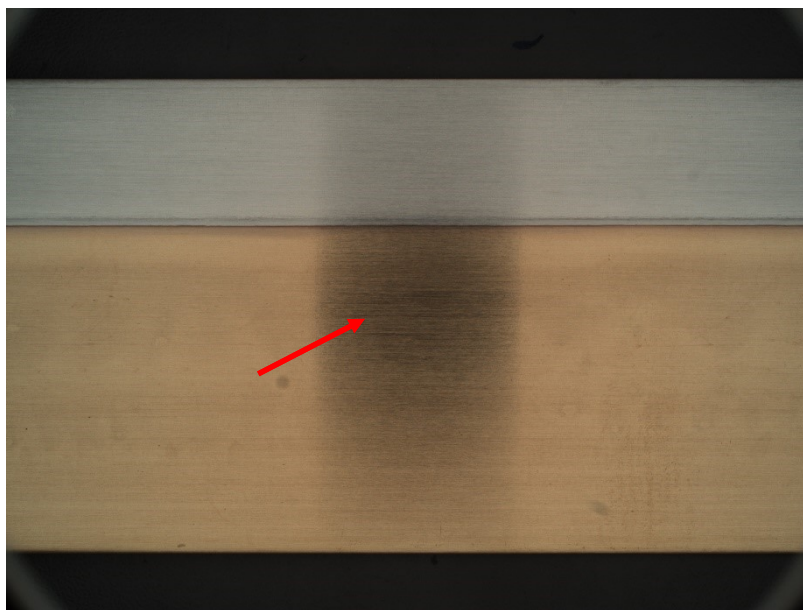
4.4.1 Testování pomocí barevné kamery s vyšším rozlišením

Jelikož z předchozího testování vyšlo najevo, že by bylo lepší použít barevnou kameru, byly původní komponenty kamerového systému (viz Obrázek 18) nahrazeny vhodnějšími. Použita byla kamera acA2040-55uc s rozlišením 3 Mpx a objektivem M1620-MPW2 firmy Computar s ohniskovou vzdáleností 16 mm. Pro tento test byl také nahrazen typ osvětlovače. Použit byl osvětlovač typu dome HPD2-150SW, firmy CCS, s LED vyzařující bílou barvu, jehož princip je popsán v kapitole 3.5.



Obrázek 18: *Použitý kamerový systém*

Snímky pořízené na vzorcích bimetalu tímto systémem (viz Obrázek 19) byly mnohem kvalitnější, a to díky vhodně zvolenému osvětlovači, kameře s větším rozlišením a k ní vhodně zvolenému objektivu. Bohužel však změna osvětlovače přinesla i jednu nevýhodu, a to, že část bimetalu, nad kterou byla umístěna kamera s objektivem se na snímku zobrazuje tmavší. Tato vada byla způsobena otvorem v horní části osvětlovače, skrz který kamera snímá vzorky.



Obrázek 19: *Snímek bimetalu s výše popsanou vadou*

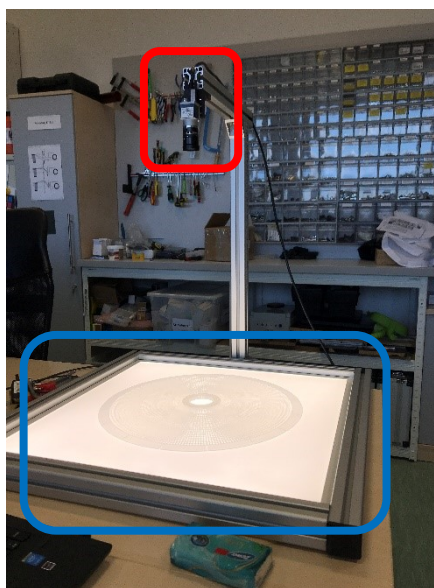
Výsledek tohoto testu byl tedy takový, že pořízené snímky jsou vysoké kvality, jednotlivé přechody mezi kovy jsou dobře rozeznatelné, avšak bylo by nutné je dále softwarově upravit, aby byla odstraněna vada způsobená osvětlovačem. Za tímto účelem byla vytvořena aplikace, která snímek upraví a následně detekuje přechod mezi kovy. Aplikace je detailněji popsána v kapitole 4.1.

4.5 Testování plastových filtrů

Zadáním tohoto testu bylo kontrolovat plastové filtry, na nichž se mohly nacházet vady v podobě úlomků materiálu nebo pavučiny ve vnější struktuře filtru. Zákazník zaslal poškozené i nepoškozené vzorky, aby popřípadě následně vytvářená aplikace měla možnost porovnávat poškozené s nepoškozenými a vyhodnotit případné vady na filtru.

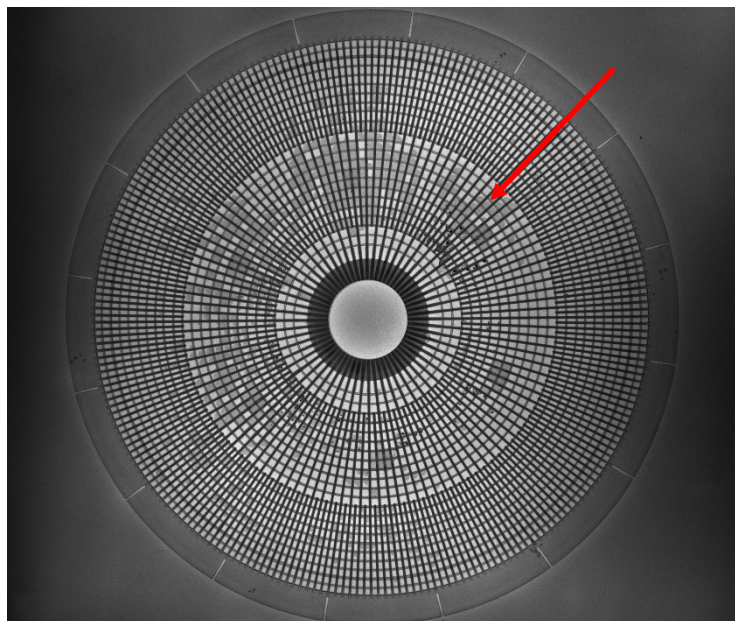
4.5.1 Testování pomocí jednoho plochého osvětlovače

První metodou testování bylo použití jednoho plochého osvětlovače ATE-light, jako plošné podsvícení filtru, který byl na světle umístěn. Pomocí plošné monochromatické kamery acA2440-35um firmy Basler s rozlišením 5 Mpx a objektivu M0824-MPW2 firmy Computar s ohniskovou vzdáleností 8 mm umístěných na stojanu byl filtr snímán. Kamera s objektivem byla označena červeným rámečkem a testovaný vzorek s osvětlovačem pak rámečkem modrým (viz Obrázek 20, Obrázek 23).

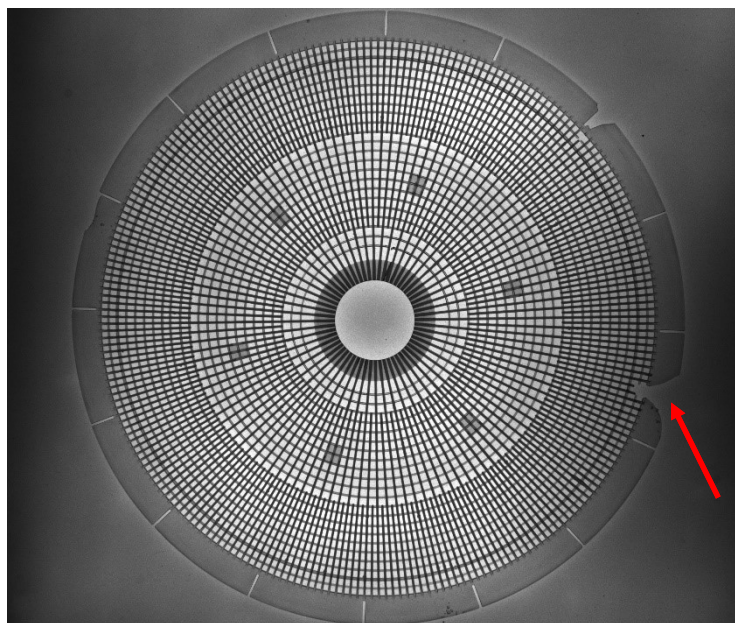


Obrázek 20: Použitý kamerový systém

Pomocí tohoto systému bylo možné pořídit poměrně dostačující snímky, na kterých byly výše popsané vady viditelné (viz Obrázek 21, Obrázek 22) a poškozené kusy byly rozpoznatelné od těch nepoškozených.



Obrázek 21: Poškozený filtr s pavučinou ve vnitřní struktuře



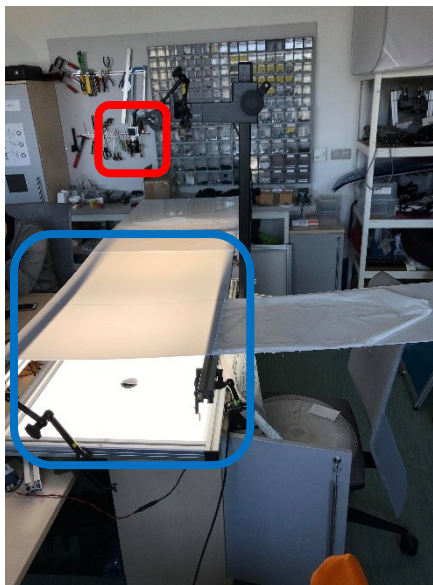
Obrázek 22: Poškozený filtr s úlomky materiálu na vnějším okraji

Vady byly sice viditelné, ale podmínky snímání filtru nebyly ideální. ATE-light v pozadí nebyl dostatečně velkých rozměrů. V důsledku toho vznikaly na levém a pravém okraji snímku tmavší místa, způsobená konstrukcí osvětlovače. Zdroj světla totiž vycházel pouze z horní a spodní hrany konstrukce. Mohlo se tedy stát, že některé vady by byly v těchto tmavých místech přehlédnuty. V důsledku toho byl zkonstruován druhý systém, který se měl pokusit tento problém odstranit.

4.5.2 Testování pomocí dvou plochých osvětlovačů a difuzoru

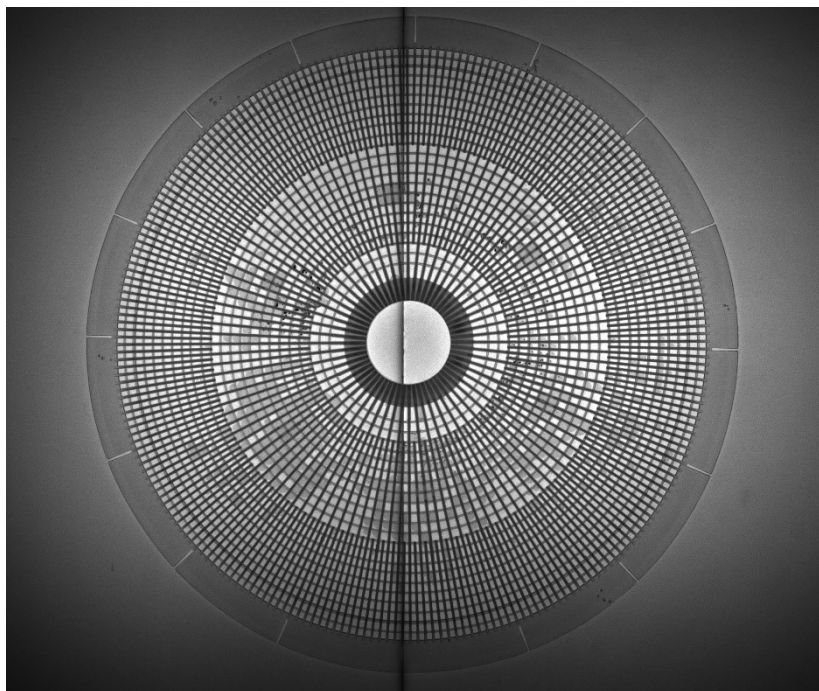
Systém (viz Obrázek 23) se lišil pouze tím, že místo jednoho osvětlovače ATE-light byly použity dva, což mělo vyřešit problém s tmavšími místy. Pro oba osvětlovače byl také použit difuzor,

pro lepší a rovnoměrnější rozptýlení světla a pro odstranění mezery mezi nimi, což by jinak způsobilo další tmavé místo.



Obrázek 23: Kamerový systém s dvěma osvětlovači a difuzorem

Snímky pořízené tímto systémem (viz Obrázek 24) dokázaly poměrně zmírnit efekt prvního systému, bohužel však tmavá místa, ačkoliv jinde, přetrvávala. To bylo pravděpodobně způsobeno nedostatečným výkonem osvětlovačů při použitém nastavení kamery a objektivu pro optimální zobrazení vad.



Obrázek 24: Snímek pořízený systémem s dvěma osvětlovači a difuzorem

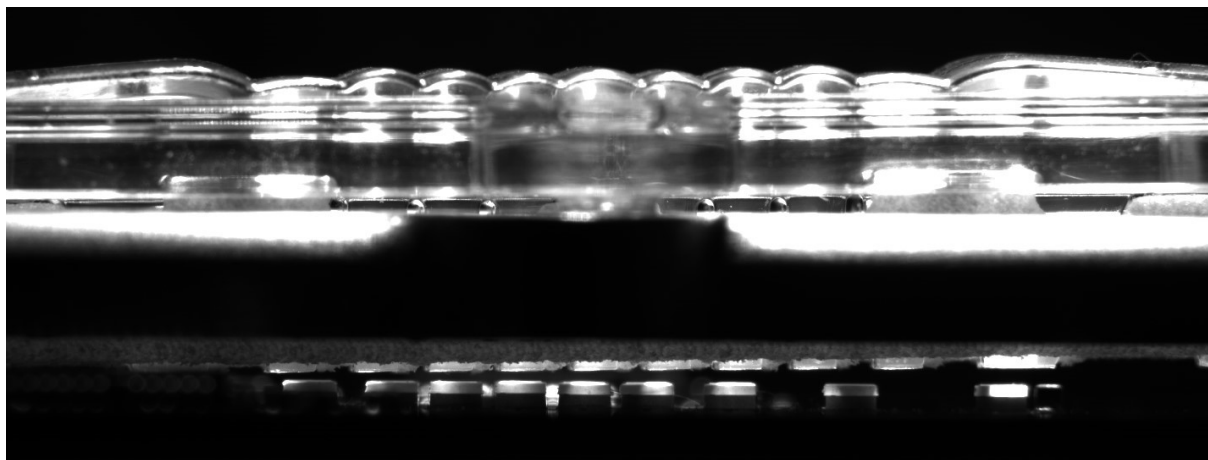
Závěr tohoto testu byl takový, že pro optimální zobrazení všech výše zmíněných vad by bylo nutné použít výkonnější osvětlovač větších rozměrů, který zajistí rovnoměrné nasvícení celého filtru bez tmavších míst na okrajích snímku.

4.6 Testování LED modulu s optikou

Úkolem tohoto testu bylo navrhnout a otestovat kamerový systém tak, aby bylo možné zajistit přesné pozicování LED modulu a primární optiky v jedné ze tří možných os pohybu. Testovaný výrobek byl dálkový světlomet do auta, který byl složen z metalové konstrukce, sloužící zároveň jako plocha s napájenou řídicí elektronikou a LED, hliníkového pouzdra pro primární optiku a primární optiky světlometu. Za tímto účelem byla pro testování zvolena plošná monochromatická kamera acA1920-40um firmy Basler s dostačujícím rozlišením 2,3 Mpx pro kvalitní zobrazení LED i optiky, jejichž rozměry byly řádově v milimetrech. Z důvodu přesného zobrazení výrobku bez zkreslení obrazu bylo nutné použít speciální telecentrický objektiv TC23036 firmy Opto Engineering, který je možné díky jeho vlastnostem, použít pro velmi přesná měření. Princip telecentrického objektivu je vysvětlen v kapitole 3.4.

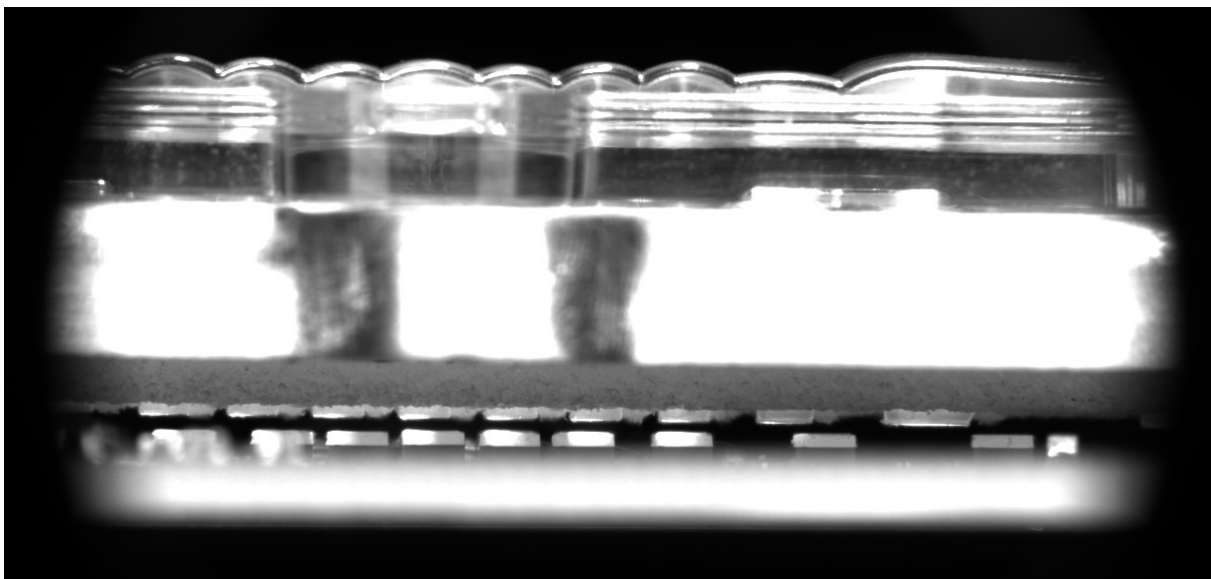
Návrh osvětlovače byl v tomto úkolu poměrně složitý. Výrobek byl velice komplexní a protože se skládal ze dvou dílčích dílů, které bylo nutné současně nasvítit (deska s LED a optika), musel být vymyšlen princip, jakým způsobem a osvětlovačem díly na výsledném snímku kvalitně zobrazit.

Prvotním nápadem bylo použít bodový osvětlovač SP-26W18 firmy Smart View a pomocí něj nasvítit optiku shora a tím se pokusit rozsvítit i LED ležící pod ní. To bohužel nepřineslo očekávaný výsledek. Světlo z bodového osvětlovače bylo nehomogenní a v důsledku toho i nasvícení optiky. Část světla sice prošla skrze optiku až na LED, ale kvůli již zmíněné nehomogenosti (viz Obrázek 25) nebylo možné toto nasvícení použít.



Obrázek 25: LED modul s optikou nasvícený pomocí bodového osvětlovače

Další možností bylo pokusit se nasvítit vhodným osvětlovačem výrobek navíc i z přední strany (z pohledu kamery). K bodovému osvětlovači tak byl přidán osvětlovač typu dome, pomocí kterého mělo být zajištěno homogenní nasvícení z přední strany. Výsledek byl sice značně lepší než předchozí nasvícení, avšak některé části LED i optiky byly pořád osvětleny více a některé méně (viz Obrázek 26), což pro výsledné vyhodnocování obrazu není přípustné.

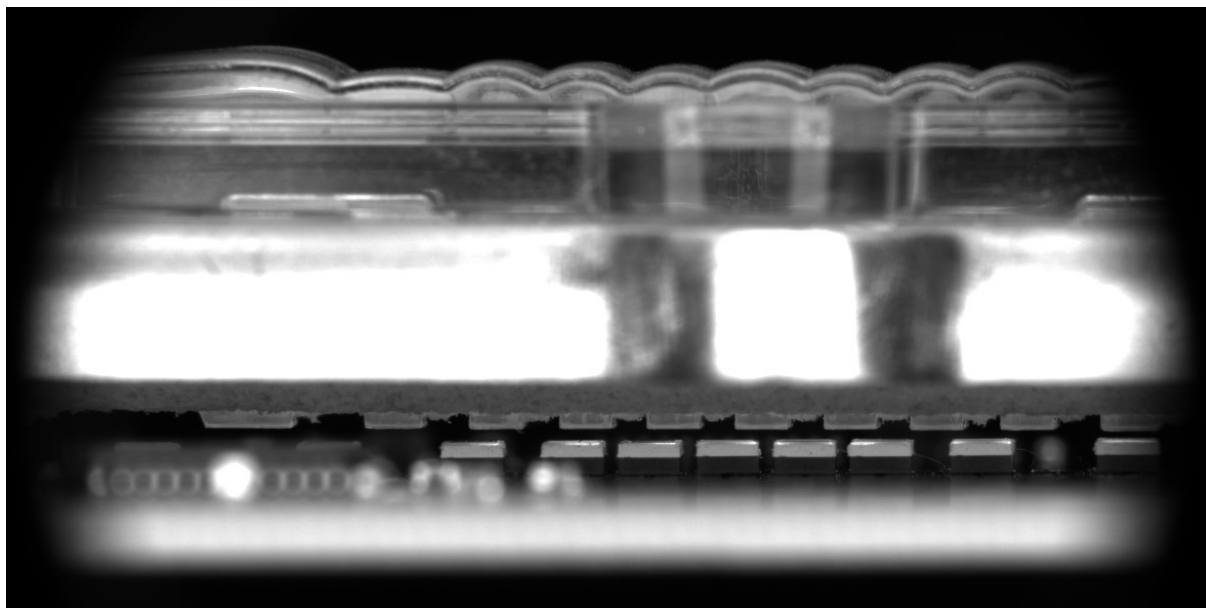


Obrázek 26: LED modul s optikou nasvícený pomocí Dome a bodového osvětlovače

Následně bylo zkoumáno, který osvětlovač světlejší místa způsobuje, aby jej bylo možné nahradit vhodnějším typem. Ukázalo se, že bodový osvětlovač vyzařoval světlo mnohem intenzivněji než dome, a právě kvůli tomu vznikala zmíněná světlejší místa. Tím pádem musel být nahrazen jiným typem osvětlovače. Po zvážení předchozích nezdarů a dalších okolností byl vytypován osvětlovač typu barlight s podobnou intenzitou vyzařování, jako dome, a navíc svými rozměry dokázal nasvítit celou plochu optiky najednou. Tento systém (viz Obrázek 27) se po otestování ukázal jako optimální, jelikož modul s LED i optika nad nimi byly kvalitně a homogenně nasvíceny (viz Obrázek 28) a kontrast mezi nimi a pozadím snímku byl pro následné vyhodnocování dostačující.



Obrázek 27: Finální systém pro snímání LED modulu s optikou



Obrázek 28: *Snímek pořízený finálním systémem*

Závěrem lze konstatovat, že navržený kamerový systém byl svými parametry a kvalitou zobrazení výrobku pro tento úkol vhodný, a mohl by tedy být následně otestován v provozních podmínkách.

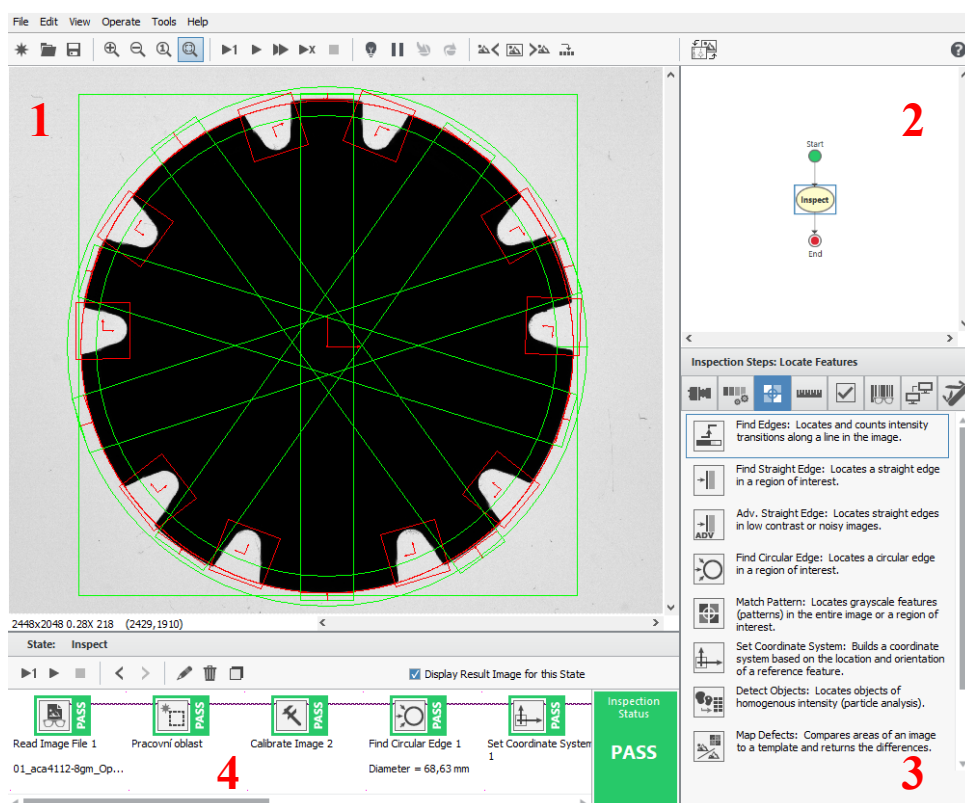
5 Seznam zadaných úkolů – programování aplikací

V oboru strojového vidění tvoří software a programování nedílnou část procesu zpracování obrazu. Digitální obraz scény či objektu, tedy upravený obraz reálného světa, který je získán z kamerového systému, je následně nutné softwarově upravit, analyzovat a vyhodnotit. Toto probíhá na základě informací obsažených v onom digitálním obraze, které jsou omezeny vlastnostmi komponentů systému a jsou tedy konečné. K vyhodnocování slouží řada různých softwarů, mezi které se řadí například Vision Builder 2019 (VBAI), jenž byl pro vyhodnocování obrazu v rámci mé bakalářské praxe použit [17].

Časová náročnost: 15 dní

5.1 Vision Builder for Automated Inspection (VBAI)

VBAI od firmy National Instruments je autonomní software, který slouží pro vytváření automatických inspekcí obrazu. Jednotlivé inspekce (programy) jsou vždy tvořeny z inspekčních kroků. Ve VBAI lze snímky pro následnou inspekci buď vytvářet v reálném čase za pomoci připojené kamery, nebo je možné postupně načítat již vytvořené snímky z přiřazené složky. VBAI je schopen pracovat ve dvou módech. Prvním je mód konfigurační (viz Obrázek 29), kde je možné inspekce vytvářet a testovat pomocí dostupných nástrojů. Druhým je pak mód provozní, ve kterém je možné odladěné inspekce spouštět [18].



Obrázek 29: Uživatelské rozhraní (konfigurační mód)

Uživatelské rozhraní konfiguračního módu je složeno z čtyř dílčích oken [18]:

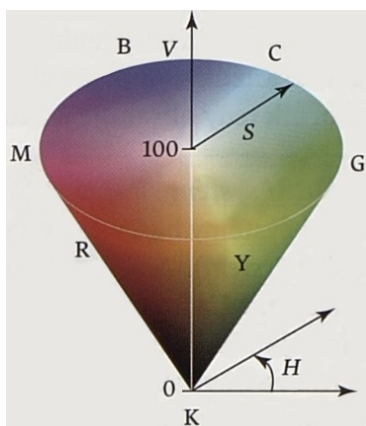
- 1. **Hlavní okno** – Zobrazuje aktuálně zpracovávaný obraz (snímek), pomocné parametry pro některé inspekční kroky, nebo stavový diagram pro inspekci. Okno je možno použít pro nastavení pracovní oblasti obrazu nebo nastavení parametrů pro některé kroky.
- 2. **Stavový diagram** – Slouží k nastavování podmínek inspekce, jejímu větvení nebo cyklení některých částí pomocí smyček. Větvení diagramu nemusí být vázáno podmínkou a je možné jednoduše definovat nové stavy.
- 3. **Paleta inspekčních kroků** – Obsahuje záložky s jednotlivými kroky inspekce (funkce), které slouží k vytváření a nastavování inspekce. V záložce je stručně popsána funkcionality jednotlivých inspekčních kroků a po rozkliknutí se dle potřeby zobrazí nové okno, sloužící k nastavování parametrů dané funkce. Záložky jsou rozděleny dle konkrétních funkcí, které sdružují, například pro získávání obrazu, úpravy obrazu nebo rozpoznávání částí.
- 4. **Konfigurační okno** – Zobrazuje jednotlivé použité funkce v dané inspekci a jejich pořadí pro vykonání. Každá funkce obsahuje indikátor, který uživateli sdělí, zda byla funkce provedena úspěšně či neúspěšně dle nastavených parametrů a limitů.

5.2 Aplikace pro detekování přechodu mezi kovy bimetalu

V tomto úkolu bylo cílem vytvořit aplikaci v softwaru VBAI, která by sloužila k detekování přechodu (hrany) mezi kovy bimetalu.

Jelikož byla v testu v kapitole 3.4 a 3.4.1 použita plošná barevná kamera, bylo nutné navrhnout, jak výsledné snímky upravit, aby byla hrana snáze detekovatelná. Pro tento účel se zdálo být vhodné použít funkci, která převede snímek do jednoho z možných barevných prostorů, jako je například HSL (Hue, Saturation, Lightness), který byl následně pro úpravu snímku použit.

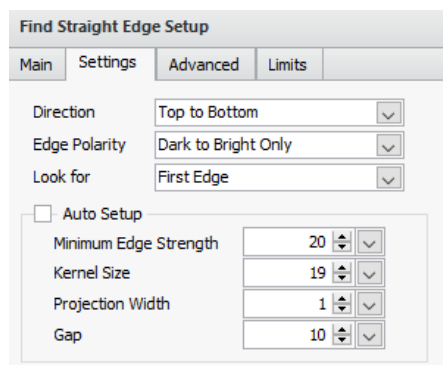
Barevný prostor HSL vznikl transformací prostoru RGB, jehož prostorová úhlopříčka s neutrálními barvami tvoří svislou achromatickou osu prostoru HSL. Výsledná barva závisí na parametrech Hue, Saturation a Lightness. Odstín barvy závisí na úhlu H (Hue), saturace (syty) barvy je dána vzdáleností od achromatické osy a světlost je udávána parametrem Lightness (viz Obrázek 30) [19].



Obrázek 30: Barevný prostor HSL [19]

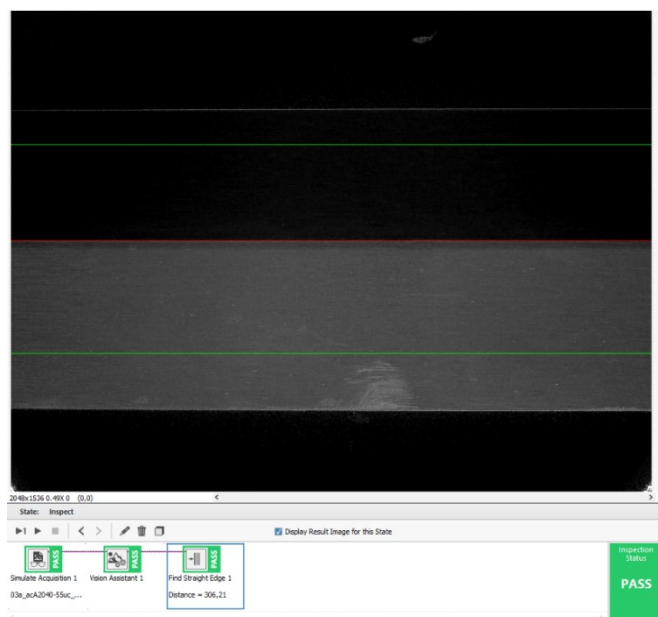
Dalším krokem bylo navrhnout, jak detekovat nově vzniklý přechod, který byl na snímku za pomoci prostoru HSL zvýrazněn. Jelikož byl jeden kov vyobrazen většinou velmi tmavými odstíny

a ten druhý spíše těmi světlejšími, připadala v úvahu možnost použití funkce "Find Straight Edge", která umožňuje ve vytvořené oblasti zájmu (pracovní oblasti) detekovat přechod (hranu) mezi pixely s rozdílnou intenzitou. Pořízené snímky disponují 8bitovou barevnou hloubkou a jednotlivé pixely tedy mohou nabývat hodnot 0–255, přičemž 0 = černá barva a 255 = bílá barva. Funkce obsahuje řadu parametrů (viz Obrázek 31), které je možné nastavit pro nejlepší možný výsledek v daném případě.



Obrázek 31: Nastavitelné parametry funkce

Na Obrázku 31 jsou vyobrazené jednotlivé nastavitelné parametry, jako například "Direction", umožňující směr vyhodnocování intenzit pixelů, "Edge Polarity", který sdělí funkci, zda má hledat v zadaném směru přechody intenzit pixelů z tmavších odstínů do těch světlejších nebo naopak. Dále pak například "Minimum Edge Strength", jenž určuje minimální rozestup intenzit pixelu, který funkce detekuje. Toto po korektním nastavení umožní z velké části eliminovat nalezené přechody například kvůli šumu nebo nečistotám a dalším vadám. Pokud by tedy měl jeden pixel intenzitu 68 a sousedící 55, funkce by tento přechod nevyhodnotila jako hledaný. Funkce také umožňuje zvolit frekvenci vyhodnocování přechodů. To je uskutečňováno prostřednictvím parametru "Gap", který je v tomto případě nastaven na hodnotu 10. Znamená to tedy, že na pořízených snímcích funkce nalezne přibližně 205 přechodů, protože horizontální rozlišení snímků, tedy to, které bylo nastaveno jako pracovní oblast, je 2048 px.



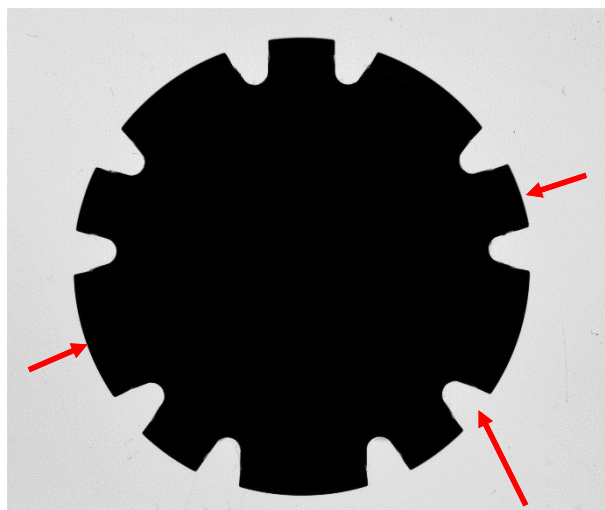
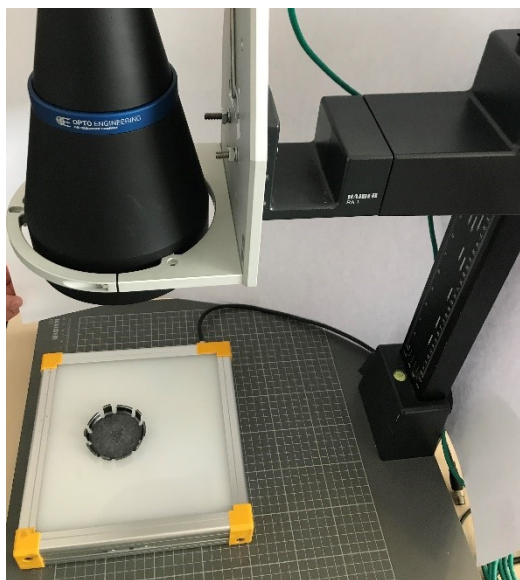
Obrázek 32: Příklad detekce přechodu mezi kovy na vzorku bimetalu

Výsledný přechod (viz Obrázek 32) je pak zobrazen červenou linkou, která vznikla proložením jednotlivých nalezených bodů přechodů.

Závěrem z této aplikace je fakt, že přechod mezi kovy bimetalu lze poměrně spolehlivě a s určitou přesností detekovat, a to právě za pomoci vhodných funkcí. Výsledky byly dále konzultovány a použity pro další postup v řešeném projektu.

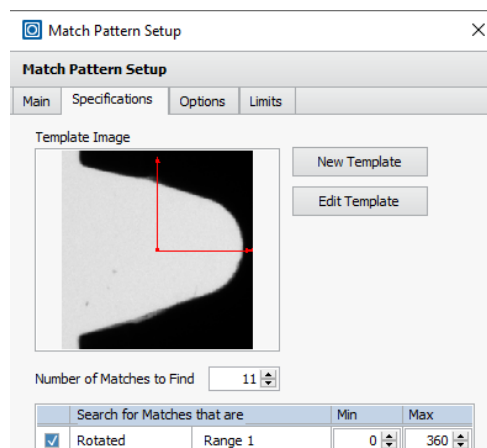
5.3 Aplikace pro kontrolu a měření součástky

Cílem této úlohy bylo vytvořit aplikaci v softwaru VBAI, která zkontroluje a změří kruhový výrobek. Pro tento účel byl navržen kamerový systém (viz Obrázek 33 a)) pro velmi přesné zobrazení výrobku (viz Obrázek 33 b)), aby bylo možné měření provádět. Použita byla plošná monochromatická kamera acA2440-20gm firmy Basler s rozlišením 5 Mpx, telecentrický objektiv TC23096 firmy Opto Engineering a osvětlovač typu backlight EFFI-BL firmy EFFILUX pro zadní nasvícení výrobku.



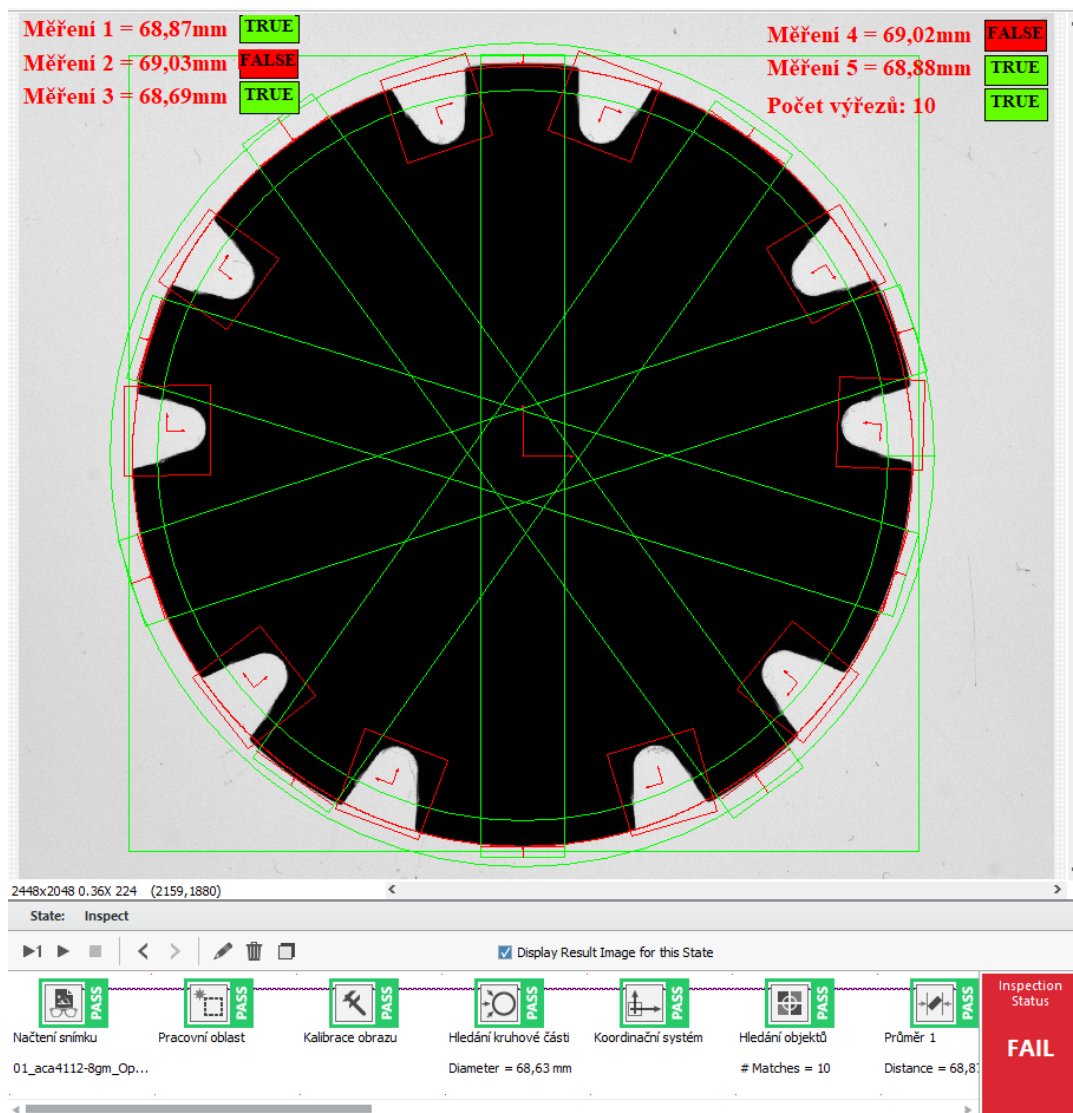
Obrázek 33: a) Použitý kamerový systém b) Výsledný snímek výrobku

Zadáním bylo na výrobku kontrolovat počet výřezů a zároveň měřit jeho průměr, aby bylo zjištěno, zda jsou části vystupující z kruhové plochy výrobku správně zahnuty. Po načtení snímku do programu byla pomocí funkce "Create Region of Interest" vytvořena pracovní oblast pro následující funkce. Dále byla provedena kalibrace obrazu, jelikož funkce pro měření by výslednou vzdálenost vyhodnocovaly v px. Funkce "Calibrate Image" umožňuje po zadání příslušných dat přepočítávat výsledky z px na zvolenou jednotku (např. mm). Funkci bylo možné využít, jelikož byla známa velikost pixelu kamery ($3,45 \times 3,45 \mu\text{m}$), její rozlišení ($2448 \times 2048 \text{ px}$) a tím pádem i velikost snímáče, podle které bylo možné na stránkách výrobce objektivu dohledat zorné pole pro zvolenou kombinaci kamery a objektivu. Díky této informaci pak již nebylo složité zadat do funkce kalibrace požadované parametry pro přepočet výsledků na jednotku mm. Pro nalezení kruhové části (obvodu) výrobku byla použita funkce "Find Circular Edge", která sloužila jako podklad pro určení koordinačního systému. Ten bylo nutné vytvořit, protože výřezy ve výrobku byly každý jinak natočený (pod jiným úhlem). Po vytvoření koordinačního systému již nebránilo nic k hledání jednotlivých výřezů. Za tímto účelem byla použita funkce "Match Pattern", ve které byl přesně vyznačen tvar, který má v pracovní oblasti hledat a také zvoleno, že může být libovolně natočen (viz Obrázek 34).



Obrázek 34: Funkce "Match Pattern"

Ve funkci byl dále nastaven přesný počet objektů k nalezení. Pokud by tedy na výrobku nějaký výřez chyběl, program by tento krok a následně i celou inspekci vyhodnotil jako neúspěšnou. Dalším bodem zadání bylo měřit průměr výrobku. Pro tento bod se nejvíce hodila funkce "Caliper", která ve své pracovní oblasti, jež byla nastavena vzhledem ke koordinačnímu systému, hledá přechody (rozdíly intenzit) mezi sousedícími pixely. Funkce byla nastavena tak, aby přechody hledala vždy z vnější strany výrobku (přechod ze světlé do tmavé části) a mezi dvěma nejvzdálenějšími následně změřila vzdálenost (průměr výrobku). Pokud se každý změřený průměr nacházel v rozmezí 68,5 - 69 mm, byla inspekce vyhodnocena jako úspěšná. V případě, že se jakýkoli z průměrů v rozmezí nenacházel, funkce pro jeho měření byla vyhodnocena jako neúspěšná a tím pádem i celá inspekce. Podmínky úspěšnosti či neúspěšnosti inspekce výrobku byly nastaveny ve funkci "Set Inspection Status". Posledním krokem inspekce bylo zobrazení výsledků hledání a měření pomocí funkce "Custom Overlay", umožňující například vypsát počet nalezených objektů a pomocí indikátoru zobrazit, zda byl výsledek označen za úspěšný či neúspěšný (viz Obrázek 35).



Obrázek 35: Výsledek inspekce kontrolovaného výrobku

6 Teoretické a praktické znalosti a dovednosti získané v průběhu studia uplatněné studentem v průběhu odborné praxe

V rámci mé bakalářské praxe jsem se zabýval návrhem a testováním kamerových systémů, programováním aplikací pro kontrolu a vyhodnocování obrazu. Mohl jsem tedy při návrhu kamerových systémů, konkrétně při práci s optikou (objektivy) a osvětlovači, uplatnit znalosti v oblasti optiky, které jsem získal v předmětu Fyzika I. Dále jsem využil znalosti a systematickosti v programování v již zmíněných aplikacích. Obojí jsem čerpal převážně z předmětů Virtuální instrumentace I a II, Základy programování řídicích systémů, Systémy řízení v reálném čase a částečně také z předmětu Senzory a měření, kde jsem se s tvorbou aplikací v oblasti strojového vidění seznámil. Velmi důležitými byly také znalosti z předmětu Bezpečnost v elektrotechnice, jelikož v průběhu celé bakalářské praxe jsem pracoval s množstvím různých elektrických zařízení. V neposlední řadě mi byly velkým přínosem i takové dovednosti získané studiem na vysoké škole, jako je například schopnost systematické práce, efektivní využití času nebo komunikace s kolegy při řešení různých problémů.

7 Znalosti či dovednosti scházející studentovi v průběhu odborné praxe

Ze začátku odborné praxe mi nejvíce scházely znalosti a dovednosti v oblasti strojového vidění. Konkrétně tedy v návrhu a testování kamerových systémů, kde jsem se musel naučit základní principy a postupy, bez kterých bych se při navrhování systémů neobešel. V jejich získávání mi velmi pomohli mí kolegové, kteří mě do problematiky rychle a ochotně zasvětili, a také absolvování kurzu základů strojového vidění, který firma pro své zákazníky organizuje. Kurz obsahoval teoretickou část, která probíhala formou přednášek o jednotlivých komponentech a jejich technologiích a také část praktickou, při níž jsem pracoval s předem připraveným kamerovým systémem a plnil úkoly. Při tvorbě aplikací v programu VBAI jsem se sice mohl opírat o základní znalosti získané v předmětu Senzory a měření, avšak i ty bylo pro úspěšnou tvorbu aplikací nutné rozšířit.

8 Dosažené výsledky v průběhu odborné praxe a její celkové zhodnocení

V průběhu mé bakalářské praxe jsem získal přehled, znalosti a dovednosti v oblasti strojového vidění a vytvořil si tak kvalitní základ pro svůj budoucí rozvoj v tomto oboru. Výstupem mé práce byly kamerové systémy, navržené a otestované pro kontrolu vad výrobku, vyhodnocování obrazu a také softwarové aplikace, které pořízený obraz zpracovaly a vyhodnotily dle zadání. Systémy i aplikace byly součástí různých projektů, které firma zpracovávala, a mohl jsem tak pozorovat, jak se postupně některá řešení stávala součástí reálného výsledku. Měl jsem tedy možnost načerpat mnoho zkušeností, znalostí a dovedností v oblasti strojového vidění a automatizace. V neposlední řadě pro mě bylo velkým přínosem získání praktických pracovních zkušeností, možnost pracovat na zajímavých projektech a také možnost spolupráce se zkušenými kolegy, kteří mi byli ochotni předat své cenné znalosti. V budoucnu bych se rád oblasti strojového vidění a automatizace věnoval a prohluboval dále získané znalosti.

Použitá literatura

- [1] KROUPA, Miloslav. Senzory Siemens zdrojem klíčových dat z výroby. Automa. 2008, 2008(11), 46-48.
- [2] Systémová integrace produktů NI. ATEsystem [online]. Ostrava: ATEsystem, ©2019 [cit. 2019-12-27]. Dostupné z: <https://www.atesystem.cz/systemy/systemova-integrace-produktu-ni>
- [3] HOTAŘ, Vlastimil. Úvod do problematiky strojového vidění: Základní principy a hardware. V Liberci: Technická univerzita, 2015. ISBN 978-80-7494-156-6.
- [4] AcA2040-25gc - Basler ace. In: Basler [online]. Germany: Basler, ©2020 [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <https://www.baslerweb.com/en/products/cameras/area-scan-cameras/ace/aca2040-25gc/>
- [5] RaL2048-48gm - Basler racer. In: Basler [online]. Germany: Basler, ©2020 [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <https://www.baslerweb.com/en/products/cameras/line-scan-cameras/racer/ral2048-48gm/>
- [6] ŘÁDKOVÉ KAMERY – TYPY A TECHNOLOGIE. In: ATEsystem [online]. Ostrava: ATEsystem, ©2020 [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <http://kamery.atesystem.cz/know-how/line-scan-velky-pruvodce-radkovymi-kamerami/dil-1-radkove-kamery-typy-a-technologie/>
- [7] ŠONKA, Milan a Václav HLAVÁČ. Počítačové vidění. V Praze: Grada, 1992, s. 25. Nestůjíte za dveřmi. ISBN 80-85424-67-3.
- [8] Digitální fotografie pro pokročilé. Čestlice: Rebo, 2006, s. 24-25. ISBN 80-723-4506-0.
- [9] KOMUNIKAČNÍ ROZHRANÍ VE STROJOVÉM VIDĚNÍ. In: ATEsystem [online]. Ostrava: ATEsystem, ©2020 [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <http://kamery.atesystem.cz/know-how/srovnani-nejpouzivanejsich-komunikacnich-rozhrani-ve-strojovem-videni/>
- [10] Objektivy pro strojové vidění. In: Analýza obrazu [online]. Brno: ABBAS, ©2011-2020 [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <http://www.analyza-obrazu.cz/objektivy/>
- [11] Telecelentrický objektiv – přednosti a charakteristiky. In: Průmyslové objektivy [online]. Brno: Kinalisoft, ©2017 [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <http://www.prumysloveobjektivy.cz/pages/view/telecelentricky-objektiv-prednosti-a-charakteristiky>
- [12] SVĚTLA. In: ATEsystem [online]. Ostrava: ATEsystem, ©2020 [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <http://kamery.atesystem.cz/produkty/svetla/>
- [13] Illumination: Dark field illumination. In: STEMMER IMAGING [online]. Germany: STEMMER IMAGING [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: <https://www.stemmer-imaging.com/en/knowledge-base/dark-field-illumination/>
- [14] HPD2 Series. CCS Inc [online]. Kyoto (Japonsko): CCS, ©2020 [cit. 2020-03-08]. Dostupné z: <https://www.ccs-grp.com/products/series/169>
- [15] Kruhová světla. In: Smart View [online]. Otrokovice: Smart View [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://www.smartview.cz/files/lights/principle/ring.png>

- [16] Pruhová světla. In: Smart View [online]. Otrokovice: Smart View [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://www.smartview.cz/files/lights/principle/bar.png>
- [17] HOTAŘ, Vlastimil. Úvod do problematiky strojového vidění: Základy zpracování obrazu. V Liberci: Technická univerzita, 2015, s. 8. ISBN 978-80-7494-202-0.
- [18] NI Vision [online]. Texas: National Instruments, 2011 [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <http://www.ni.com/pdf/manuals/373379h.pdf>
- [19] KAPLANOVÁ, Marie. Moderní polygrafie. Praha: Svaz polygrafických podnikatelů, 2009, s. 25. ISBN 978-80-254-4230-2.

Seznam příloh

Součástí bakalářské praxe je CD obsahující kódy programu Vision Builder for Automated Inspection.